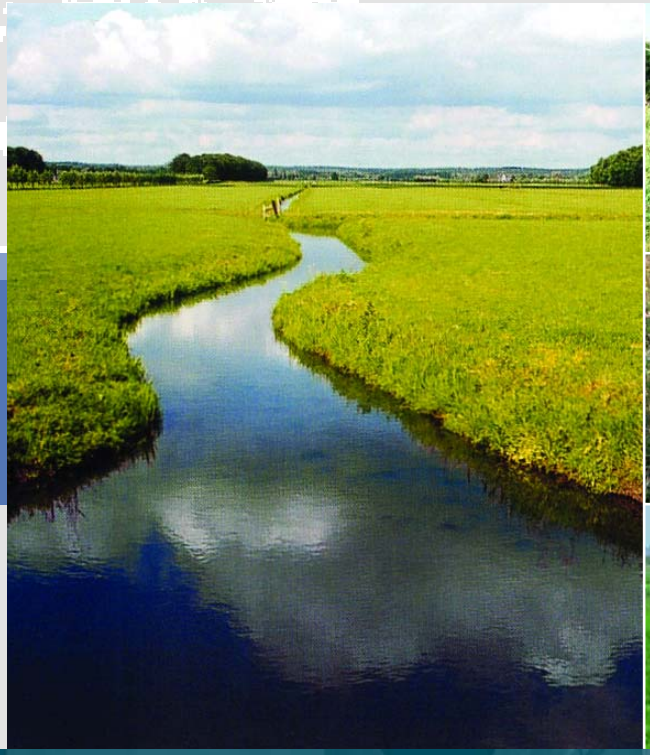
ALTERRA
WAGENINGEN UR

Duurzaam waterbeheer Langbroekerwetering

Fase 2: Verkenning van het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime met Waterwijs

P.E.V. van Walsum
J. Runhaar
A.A. Veldhuizen
P.C. Jansen



Alterra-rapport 1155, ISSN 1566-7197

Duurzaam waterbeheer Langbroekerwetering – fase 2

In opdracht van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en LNV-programma Veranderend waterbeheer

Duurzaam waterbeheer Langbroekerwetering

Fase 2: Verkenning van het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime met Waterwijs

P.E.V. van Walsum
J. Runhaar
A.A. Veldhuizen
P.C. Jansen

Alterra-Rapport 1155

Alterra, Wageningen, 2006

REFERAAT

Van Walsum, P.E.V., J. Runhaar, A.A. Veldhuizen en P.C. Jansen. 2006. *Duurzaam waterbeheer Langbroekerwetering; Fase 2: Verkenning van het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime met Waterwijs*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1155. 167 blz. 66 fig.; 20 tab.; 20 ref.

Het project Duurzaam waterbeheer Langbroekerwetering is door het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden in samenwerking met de provincie Utrecht en de Dienst Landelijk Gebied opgestart als pilot-project voor de vaststelling van het GGOR (Gewenst Grond- en Oppervlakte-waterregime). Daarbij wordt voor het Langbroekerwetering-gebied (6 800 ha) gebruik gemaakt van de Waternoodsystematiek en van het Waternood-evaluatieinstrumentarium voor de kwantificering van doelrealisaties met betrekking tot landbouw en natuur. In dit deelrapport worden een aantal stappen gezet die als bouwstenen kunnen dienen voor het GGOR. Ten eerste is met de stochastenmethode een faalkansanalyse uitgevoerd, om te zien in hoeverre de afwatering aan de normen voldoet. Tevens is de klimaatbestendigheid daarvan onderzocht. Wat betreft de inrichting van het gebied is eerst een selectie gemaakt van locaties voor de aanleg van nieuwe natuur, waarbij gebruik is gemaakt van doelrealisaties volgens Waternood, en tevens van het Referentie Grond- en Oppervlaktewaterregime. Vervolgens zijn twee Waterwijs-optimaliseringsmodellen opgezet: een 'schotten-vast'-model voor inrichting van de bestaande en nieuwe natuur, en een 'schotten-los'-model voor de inrichting van het omringende landbouwgebied. Met het Waterwijs-model zijn een viertal varianten gegenereerd die de 'hoekpunten van het speelveld' vormen. Vervolgens is door de Projectgroep Langbroekerwetering mede op basis van de verkregen inzichten een combinatie gemaakt met de wensen vanuit het gebied en de haalbaarheid van de maatregelen. Dit resulteerde tenslotte in een 'Voorkeursvariant' die de gebiedscommissie is aangeboden.

Trefwoorden: GGOR, AGOR, RGOR, Waternood, regionale hydrologie, optimalisering, stochastenmethode, SIMGRO, Waterwijs

ISSN 1566-7197

Foto omslag: Hans Neecke, Leersum

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2006 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

[Alterra-Rapport 1155/dec/2006]

Inhoud

Woord vooraf 7

Samenvatting 9

1 Inleiding 11
- 1.1 Achtergrond 11
- 1.2 Doelstellingen 11
- 1.3 Werkwijze 12
- 1.4 Projectresultaat en afbakening 15
- 1.5 Leeswijzer 15

2 Faalkansanalyse 17
- 2.1 Inleiding 17
- 2.2 De stochasten 18
  - 2.2.1 Neerslagsom 18
  - 2.2.2 Neerslagverdeling 19
  - 2.2.3 Begintoestand 19
  - 2.2.4 Rivierwaterstanden 23
- 2.3 Faalkansberekening 24

3 Selectie van locaties voor nieuwe natuur 33
- 3.1 Inleiding 33
- 3.2 Eerste verkenning hydrologie en ecologie 33
  - 3.2.1 Hydrologische situaties 33
  - 3.2.2 Ecologische evaluaties 35
- 3.3 Selectieprocedure 36
  - 3.3.1 Planningseenheden 36
  - 3.3.2 Cyclisch selectieproces 38
  - 3.3.3 Resultaten 39

4 Verkenning inrichting en waterbeheer natuur 41
- 4.1 Inleiding 41
- 4.2 Mogelijke inrichtingsmaatregelen 41
- 4.3 Inrichting op basis van 'schotten-vast' 46
- 4.4 Effecten van inrichting natuur op landbouwsaldo's 50

5 Verkenning inrichting en waterbeheer landbouw 53
- 5.1 Inleiding 53
- 5.2 Mogelijke inrichtingsmaatregelen 54
- 5.3 Optimaliseringsmodel 56
  - 5.3.1 Inleiding 56
  - 5.3.2 Metamodel van de regionale grondwatereffecten 57
  - 5.3.3 Metamodel van piekafvoer 60

5.3.4 Gebruikersinterface 62
5.4 Berekening marginale kosten van natuurdoelrealisaties 63
5.5 Verkenning van het speelveld met Waterwijs 65
5.5.1 Varianten 65
5.5.2 Effecten op natuurdoelrealisaties 67
5.5.3 Effecten op landbouwsaldo's 69
5.5.4 Effecten op piekafvoeren 70

6 Op weg naar het Gewenste Grond- en Oppervlaktewater-regime 71
6.1 Inleiding 71
6.2 Varianten 71
6.2.1 Verdere verkenning van het speelveld 71
6.2.2 De Voorkeursvariant 75
6.3 Effecten 78
6.3.1 Effecten op natuurdoelrealisaties 78
6.3.2 Effecten op landbouwschadesaldo's 81
6.3.3 Effecten op faalkansen en piekafvoersituaties 83
6.3.4 Effecten op bebouwd gebied 89

7 Slotbeschouwing 91

Literatuur 93

Aanhangsel 1 Methode voor bepaling Referentiegrondwaterstand 95
Aanhangsel 2 Hydrologische situaties natuurverkenning 101
Aanhangsel 3 Ecologische evaluaties natuurverkenning 105
Aanhangsel 4 Opeenvolgende stappen selectie natuur 109
Aanhangsel 5 Natuurdoelrealisaties maatregelvarianten natuur 111
Aanhangsel 6 Bijdragen piekafvoer maatregelevarianten natuur 117
Aanhangsel 7 Toegekende gewichten aan UNATs 123
Aanhangsel 8 Maatregelpatronen varianten landbouw 125
Aanhangsel 9 Vergelijking maatregelvarianten landbouw 129
Aanhangsel 10 Natuurdoelrealisaties maatregelvarianten landbouw 131
Aanhangsel 11 Landbouwschades 139
Aanhangsel 12 Landbouwdoelrealisaties 153
Aanhangsel 13 Overwegingen voorkeursvariant 161
Aanhangsel 14 Maatregelen voorkeursvariant 167

Woord vooraf

Het rapport dat voor u ligt vormt de afsluiting van de tweede fase van het onderzoek Duurzaam waterbeheer Langbroekerwetering. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en het LNV-programma 'Veranderend waterbeheer'.

Onze dank voor de goede samenwerking gaat uit naar Eric Haddink die als projectleider namens het hoogheemraadschap fungeerde. Ook danken wij Joost Heijkers voor het altijd alert meedenken en het doen van suggesties. De creativiteit waarmee dit duo 'maatregelen' (3 in 1) wist te bedenken bezorgde ondergetekende de nodige hoofdbrekens en extra uurtjes. Heleen Genders en Rob Klaarenbeek hebben in het laatste traject van de (lange) 'rit' de touwtjes overgenomen en het project naar een goede afronding gebracht.

Verder zijn wij erkentelijk voor het werk van de begeleidingscommissie. Naast bovengenoemde personen bestond deze uit Frank van Pruissen van de Provincie Utrecht en Ruud Weijs van HDSR.

Wageningen, december 2006

Paul van Walsum

Samenvatting

Voor de meeste gebieden moet op afzienbare termijn een Gewenst Grond- en Oppervlaktewaterregime (GGOR) worden opgesteld, en moet er tevens zicht komen op het voldoen aan de WB21-taakstelling. Daar doorheen speelt de al lopende planvorming rondom de realisatie van de Ecologische Hoofdstructuur, de EHS. Tevens doemt de Europese Kaderrichtlijn op aan de horizon. Als gevolg van de diverse – gedeeltelijke tegenstrijdige eisen – en het kluwen van dwarsverbanden staan de waterbeheerders voor een bijna onmogelijke taak. Om hierin behulpzaam te zijn is het systeem Waterwijs ontwikkeld (Van Walsum e.a., 2002). Waterwijs integreert hydrologische, ecologische en economische kennis binnen een raamwerk van wiskundige optimalisering. Voor het gebied Beerze en Reusel was al een prototype opgezet. Daarbij werd de selectie van nieuwe natuur gezien als 'autonome ontwikkeling', terwijl het in de praktijk vaak niet reëel is om aan te nemen dat de locaties van nieuwe natuur al vastliggen. Selectie van nieuwe natuur dient dus onderdeel te worden van de methodiek. In het prototype was nog geen gebruik gemaakt van Waternood, terwijl dat wel een vereiste is voor het breed toepasbaar maken van het instrumentarium. Het Langbroekerweteringgebied (binnen de driehoek Driebergen – Amerongen – Wijk bij Duurstede) moet als voorbeeld dienen.

De volgende concrete doelstellingen worden met het project beoogd ten aanzien van het Langbroekerweteringgebied:
- inzicht te krijgen in de faalkans van het systeem, d.w.z. na te gaan in hoeverre de huidige afwatering al of niet aan de normen voldoet, en hoe het zit met de klimaatbestendigheid daarvan;
- het bepalen van de meest geschikte ligging van de nieuwe natuurgebieden (250 ha natte natuur, 150 ha droge natuur);
- het vinden van een door alle partijen geaccepteerde nieuwe hydrologische situatie;
- het bepalen van de mate van herstel voor de verdroogde gebieden;
- het definiëren van de maatregelen die genomen moeten worden om deze situatie te bereiken.

De eerste stap was het opzetten van een SIMGRO-model voor het studiegebied. Vervolgens is het Waternoodinstrumentarium gevoed met relevante gegevens ten aanzien van grondwaterstanden (GXG-informatie) en bruto kwel naar de wortelzone (Van Walsum e.a., 2001). Met deze koppeling is het mogelijk om het Actuele Grond- en Oppervlaktewaterregime (AGOR) te bepalen, en te presenteren in termen van doelrealisaties voor landbouw en natuur. Voor het Langbroekerweteringgebied is de SIMGRO-modellering en berekening van het AGOR gerapporteerd in Hermans e.a. (2004).

Als tweede stap is een zogenaamde faalkansanalyse gemaakt, om te zien in hoeverre het afwateringssysteem toereikend is in de huidige situatie en hoe het zit met 'klimaatbestendigheid'. Daartoe is de stochastenmethode ingezet (De Graaff en

Versteeg, 2000). Het blijkt dat het areaal waar niet aan de normen voldaan wordt snel zal toenemen als gevolg van klimaatverandering. Het is nog maar de vraag of dat bezwaarlijk is, want door water in het gebied vast te houden wordt voldaan aan het principe van 'niet afwentelen'.

De derde stap bestond uit het maken van een selectie van geschikte locaties voor nieuwe natuur. Een referentiegrondwaterstand (RGOR) gebaseerd op bodemkenmerken en reliëf geeft om te beginnen een beeld van wat maximaal haalbaar is in het gebied als alle verdrogende invloeden zouden worden verwijderd. Meer realistisch is het zogenaamde VGOR-max, waarin het Verwachte Grond- en Oppervlaktewaterregime wordt beschreven na opheffing van alle verdrogende invloeden vanuit de landbouw. Het VGOR-max is hier als vertrekpunt genomen bij het houden van een soort afvalrace, waarbij het nog overblijvende gebiedsdeel dat in aanmerking komt voor selectie van nieuwe natuur steeds verder inkrimpt, tot dat het gewenste aantal hectares is bereikt (250 ha natte natuur in het Langbroekerweteringgebied).

De vierde stap betreft het inrichten van de bestaande en nieuwe natuur. Daartoe wordt een tabel van mogelijke maatregelen opgesteld, waarin deelmaatregelen voorkomen die zowel betrekking hebben op de doelrealisatie natuur als op het beperken van de hoogwaterafvoer. Deze maatregelen zijn in de vorm van een (natuur)gebiedsdekkende gevoeligheidsanalyse uitgeprobeerd via runs met model SIMGRO. De resultaten zijn opgeslagen in tabellen en ingevoerd in een 'schotten-vast'-model (d.w.z. zonder wisselwerking tussen natuurdeelgebieden onderling). Met dat model is een afweging gemaakt tussen natuurdoelrealisatie en beperking van hoogwaterafvoer. Deze doelstellingen zijn lang niet altijd in de vorm van een 'win-win'-situatie te combineren.

In de vijfde stap is – gegeven de gekozen inrichting van natuurgebieden, ook de bestaande – een Waterwijs-model opgezet voor de inrichting van het landbouwgebied, in dit geval volgens de 'schotten-los'-methode, waarin de wisselwerking tussen landbouwgebieden en natuurgebieden centraal staat. Daarbij wordt eveneens een tabel van maatregelen opgesteld, bestaande uit deelmaatregelen die gericht zijn op vernatting van naastliggende natuur, optimalisering van de landbouw en beperking van de hoogwaterafvoer. Wat dat laatste betreft wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde 'stuwende' duikerconstructie, die als veelbelovend wordt gezien voor het vasthouden van water in de haarvaten van het systeem. Met het Waterwijsmodel zijn een viertal varianten gegenereerd die de 'hoekpunten van het speelveld' vormen, uitgaande van randvoorwaarden ten aanzien van natuurdoelrealisatie en hoogwaterafvoer. Deze varianten zijn vervolgens getoetst met het SIMGRO-Waternoodinstrumentarium. Vervolgens is door de Projectgroep Langbroekerwetering mede op basis van de verkregen inzichten een combinatie gemaakt met de wensen vanuit het gebied en de haalbaarheid van de maatregelen (ook in de natuurgebieden). Dit resulteerde ten slotte in een 'Voorkeursvariant' die aan de gebiedscommissie is aangeboden.

1 Inleiding

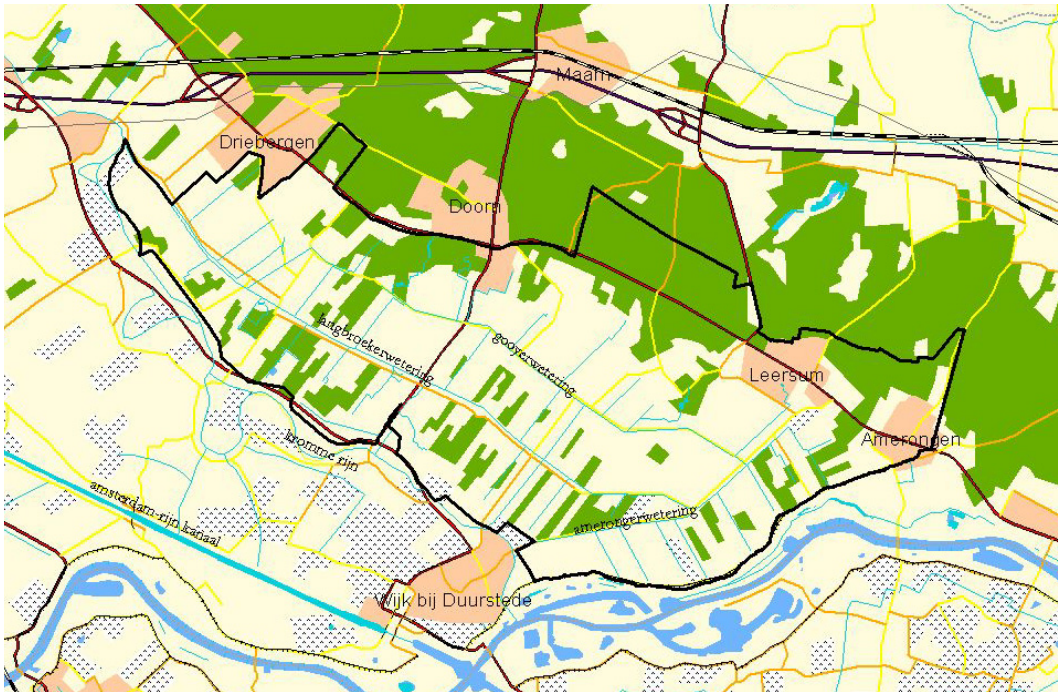
1.1 Achtergrond

Voor de meeste gebieden moet op afzienbare termijn een Gewenst Grond- en Oppervlaktewaterregime (GGOR) worden opgesteld, en moet er tevens zicht komen op het voldoen aan de WB21-taakstelling. Daar doorheen speelt de al lopende planvorming rondom de realisatie van de Ecologische Hoofdstructuur, de EHS. Tevens doemt de Europese Kaderrichtlijn op aan de horizon. Als gevolg van de diverse – gedeeltelijke tegenstrijdige eisen – en het kluwen van dwarsverbanden staan de waterbeheerders voor een bijna onmogelijke taak. Om hierbij behulpzaam te zijn is het systeem Waterwijs ontwikkeld (Van Walsum e.a., 2002). Waterwijs integreert hydrologische, ecologische en economische kennis binnen een raamwerk van wiskundige optimalisering. Voor het gebied Beerze en Reusel was reeds een prototype opgezet van het systeem (Van Walsum e.a. 2002). Daarbij werd de selectie van nieuwe natuur gezien als 'autonome ontwikkeling', terwijl het in de praktijk vaak niet reëel is om aan te nemen dat de locaties van nieuwe natuur reeds vastliggen. Selectie van nieuwe natuur dient dus onderdeel te worden van de methodiek. In het prototype was nog geen gebruik gemaakt van Waternood, terwijl dat wel een vereiste is voor het breed toepasbaar maken van het instrumentarium. Het Langbroekerweteringgebied (binnen de driehoek Driebergen – Amerongen – Wijk bij Duurstede) moet als voorbeeld dienen.

1.2 Doelstellingen

Sinds 1996 loopt er in het Langbroekerweteringgebied (Figuur 1) het 'Gebiedsgericht project Langbroekerwetering'. In dat project moeten de knelpunten ten aanzien van de verschillende van belang zijnde thema's (waaronder landbouw, natuur en water) zoveel mogelijk in samenhang opgelost worden. De volgende concrete doelstellingen worden met het project beoogd ten aanzien van het Langbroekerweteringgebied:

- inzicht te krijgen in de faalkans van het systeem, d.w.z. na te gaan in hoeverre de huidige afwatering al of niet aan de normen voldoet; tevens na te gaan hoe het zit met de klimaatbestendigheid daarvan;
- het bepalen van de meest geschikte ligging van de nieuwe natuurgebieden (250 ha natte natuur, 150 ha droge natuur);
- het vinden van een door alle partijen geaccepteerde nieuwe hydrologische situatie;
- het bepalen van de mate van herstel voor de verdroogde gebieden;
- het definiëren van de maatregelen die genomen moeten worden om deze situatie te bereiken.

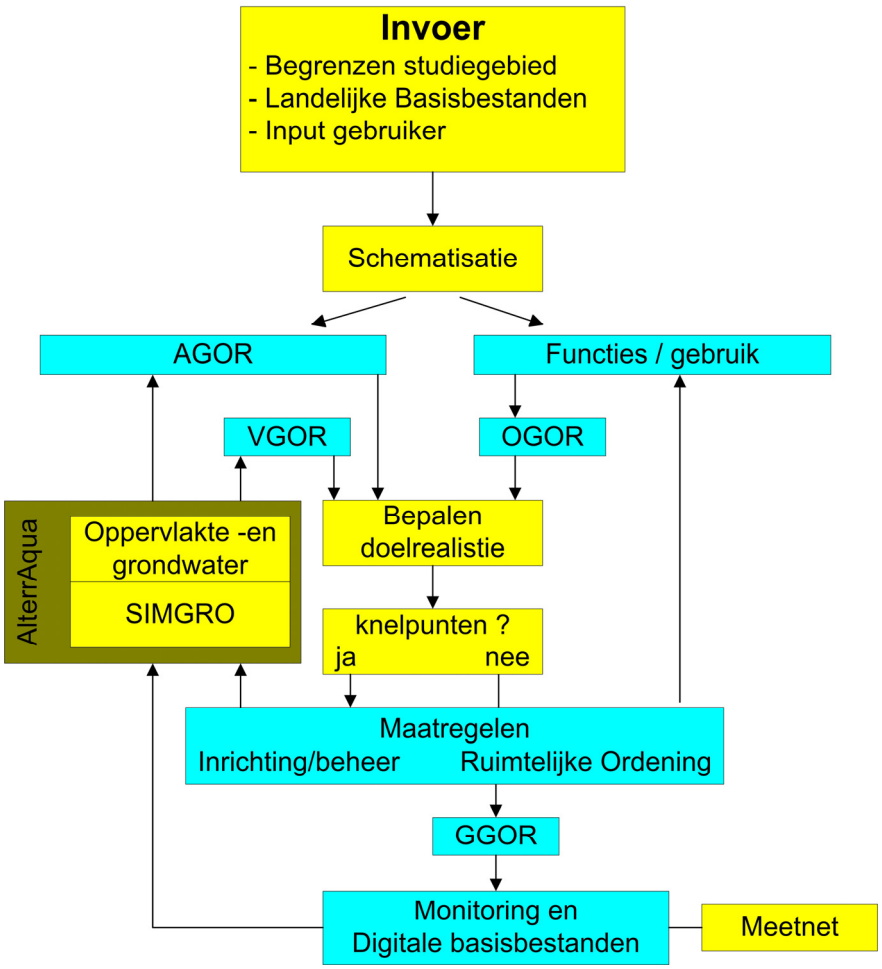


Figuur 1 Studiegebied Langbroekerwetering (Hermans e.a., 2004)

1.3 Werkwijze

Gezien de complexiteit van de vraagstelling is het zinvol om gebruik te maken van het geïntegreerde regionale hydrologische model SIMGRO. Over de toepassing en calibratie van SIMGRO is gerapporteerd in Hermans e.a. (2004). In dat onderzoek is tevens de koppeling gelegd met het Waternoodinstrumentarium (STOWA/RIZA, 2002). Het 'instrumentarium'-deel van Waternood betreft de evaluatie van hydrologische situaties in termen van 'doelrealisaties' voor landbouw en natuur. Wat betreft de landbouw komt dat overeen met het berekenen van een relatieve opbrengst: die bedraagt 0.0 voor een totale schade (b.v. als gevolg van wateroverlast van aardappels) tot 1.0 voor een maximale productie. In het instrumentarium is tevens een berekening van landbouwsaldo's opgenomen, waarbij de schade (= verschil met een optimale opbrengst) wordt vertaald naar een gemiddeld bedrag per jaar, zowel voor de droogte- als de natschade. Bij de natuurevaluatie wordt eveneens een evaluatie in termen van doelrealisatie gegeven. Die komt tot stand door een combinatie te maken van doelrealisatiefuncties ten aanzien van GVG, GLG en kwel. Het Waternoodinstrumentarium is op de markt gebracht als onderdeel van de Waternood-'systematiek', met daarin de volgende sleutelbegrippen:

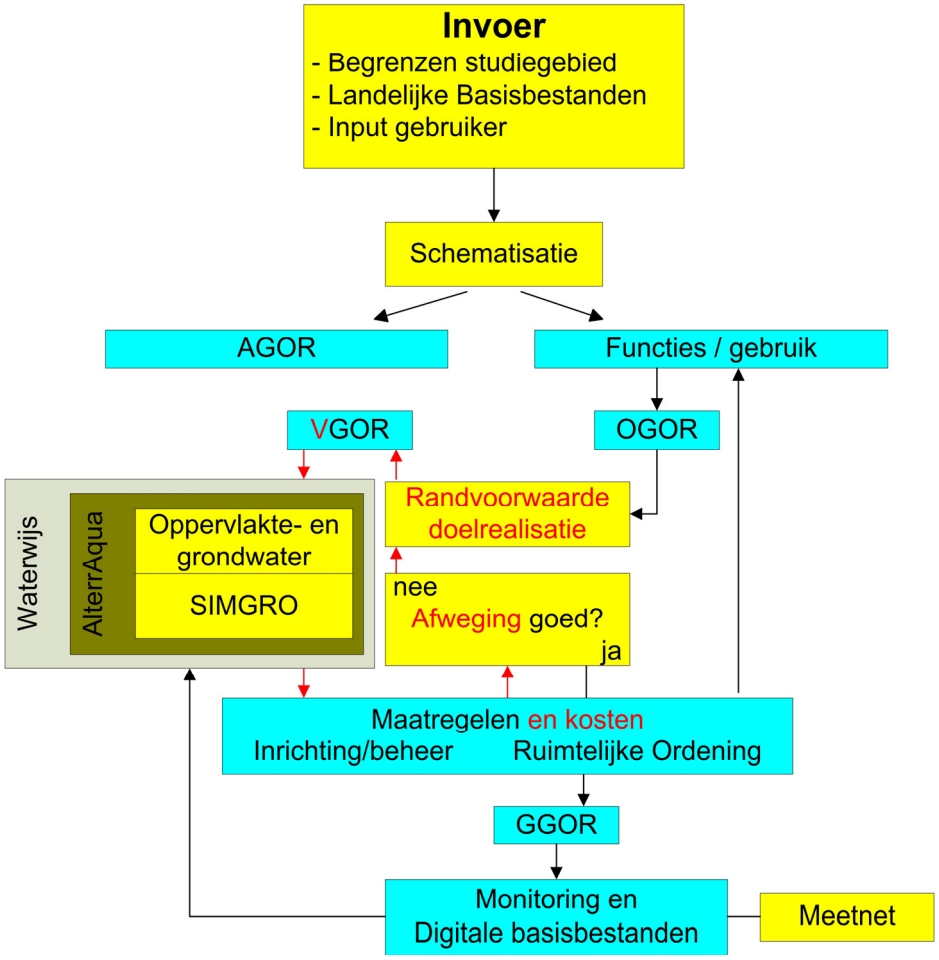
- AGOR, het Actuele Grond- en Oppervlaktewaterregime;
- OGOR, het Optimale Grond- en Oppervlaktewaterregime;
- VGOR, het Verwachte Grond- en Oppervlaktewaterregime;
- GGOR, het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime.



Figuur 2 Inpassing SIMGRO/Alterraqua in het Waternoodschema

Deze begrippen vindt men terug in het Waternoodschema; in de originele versie daarvan ontbreekt een rekenhart; die moet extern aangeleverd worden. Daarin is hier voorzien door middel van model SIMGRO ingepakt in de GIS-schil AlterrAqua, zoals weergegeven in Figuur 2. Het schema zou men b.v. als volgt kunnen gebruiken:

- maak een keuze ten aanzien van functies;
- leidt daaruit af wat de ideale hydrologische omstandigheden zijn voor die functies, de OGOR;
- toets vervolgens of de actuele situatie (AGOR) daar al of niet aan voldoet; het model SIMGRO is gebruikt als interpolator van de veldwaarnemingen (grondwaterstanden) voor de bepaling van het AGOR;
- als dat niet het geval blijkt te zijn, probeer via allerlei maatregelen de actuele situatie om te buigen naar de gewenste; dat geeft een cyclus waarbij steeds de verwachte nieuwe situatie (VGOR) wordt vergeleken met de OGOR;
- kies uiteindelijk een pragmatische oplossing, op basis van een afweging tussen 'kosten' en 'baten' (al dan niet monetair uitgedrukt); dit levert de 'gewenste' situatie op (GGOR).



Figuur 3 Inpassing Waterwijs in het Waternoodschema

Aan deze systematiek hebben wij hier de 'RGOR' toegevoegd, het Referentie Grond- en Oppervlaktewaterregime. Het RGOR is gebaseerd op een analyse van het bodemtype en het reliëf (Aanhangsel 1). Hieruit zijn conclusies te trekken ten aanzien van de hydrologische omstandigheden die ooit hebben geheerst, voordat antropogene invloeden hun inwerking begonnen te hebben.

Bij de vraagstelling gericht op het bepalen van de GGOR wordt men geconfronteerd met het probleem dat het aantal mogelijke ruimtelijke configuraties zeer groot is. Tegelijkertijd staat men voor de opgaaf om rekening te houden met de belangen van natuur, landbouw, en 'water' (WB21). Om op een objectieve en reproduceerbare wijze tot inrichtingsvoorstellen te komen is daarom hier gebruik gemaakt van het systeem Waterwijs (Van Walsum e.a., 2002), dat is ingebed in het Waternood-schema zoals aangegeven in Figuur 3. Deze functionaliteit is niet een vervanging van SIMGRO-Waternood (Figuur 2), maar een aanvulling. Door de speciale wiskundige formulering van het Waterwijs-model, kan de omgekeerde weg worden bewandeld. Daarbij worden randvoorwaarden aan doelstellingen natuur en 'water' als *uitgangspunt*

genomen. Vervolgens gaat het systeem een ruimtelijke patroon van maatregelen vinden dat daar aan voldoet (als dat mogelijk is), en tevens de afname van het landbouwinkomen zo laag mogelijk houdt. Omdat Waterwijs werkt met een vereenvoudigde beschrijving van het regionale systeem is het nodig om een gevonden variant vervolgens te toetsen met SIMGRO-Waternood volgens het schema van Figuur 2.

Enige mate van win-win kan verwacht worden tussen landbouw, natuur en water; maar uiteindelijk moet er toch een afweging worden gemaakt (Figuur 3). De afwegingen moeten door de *gebruiker* van het systeem worden gedaan: het rekenmodel is en blijft een hulpmiddel, en niet meer dan dat.

1.4 Projectresultaat en afbakening

Het rapport is gericht op het aanleveren van bouwstenen die nuttig kunnen zijn in de aanloop tot een GGOR-proces in het studiegebied. Voor de definitieve afronding is nog een vervolgfase noodzakelijk, waarin de interactie met de gebiedsbewoners centraal staat.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt voor het AGOR en twee klimaatscenario's een 'faalkansanalyse' uitgevoerd. Dat betreft een analyse van de herhalingstijd van inundaties, en dan vooral van de inundaties die veroorzaakt worden door een ontoereikende afwatering. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de procedure beschreven voor het selecteren van nieuwe natuur, gevolgd door de verkenning van inrichting en beheer van de nieuwe natuur in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 volgt de verkenning van inrichting en waterbeheer van het landbouwgebied met behulp van Waterwijs, gegeven de gekozen nieuwe natuur. In hoofdstuk 6 wordt beschreven hoe de Projectgroep Langbroekerwetering mede op basis van de verkregen inzichten een combinatie gemaakt met de wensen vanuit het gebied en de haalbaarheid van de maatregelen. Dit resulteerde ten slotte in een 'Voorkeursvariant' die aan de gebiedscommissie is aangeboden. Afgesloten wordt met een slotbeschouwing in hoofdstuk 7.

2 Faalkansanalyse

2.1 Inleiding

Om de huidige situatie in het studiegebied op waarde te kunnen schatten is het nodig om inzicht te hebben in de 'faalkans' van het systeem wat betreft situaties met wateroverlast. Het falen van het systeem wordt hier gedefinieerd als het optreden van inundatie door een ontoereikende afwatering.

Aangezien het inmiddels een geaccepteerd gegeven is dat het klimaat aan verandering onderhevig is (KNMI, 2003), is het tevens relevant om te weten hoe het systeem zal reageren op een (mogelijk) toekomstig klimaat. Om aan de benodigde informatie te komen is daarom een faalkansanalyse gemaakt met de methode van de 'stochasten' (De Graaff en Versteeg, 2000). Die methode is ook toegepast voor twee klimaatscenario's van het KNMI voor 2050: het zogenaamde middenscenario met een temperatuurstijging van 1 °C, en het maximumscenario met een stijging van 2 °C. Aangezien in dit onderzoek gebruik wordt gemaakt van een fysisch gebaseerd integraal model is het ons inziens verantwoord berekeningen uit te voeren die buiten het bereik van de huidige situatie liggen, zoals klimaatveranderingen.

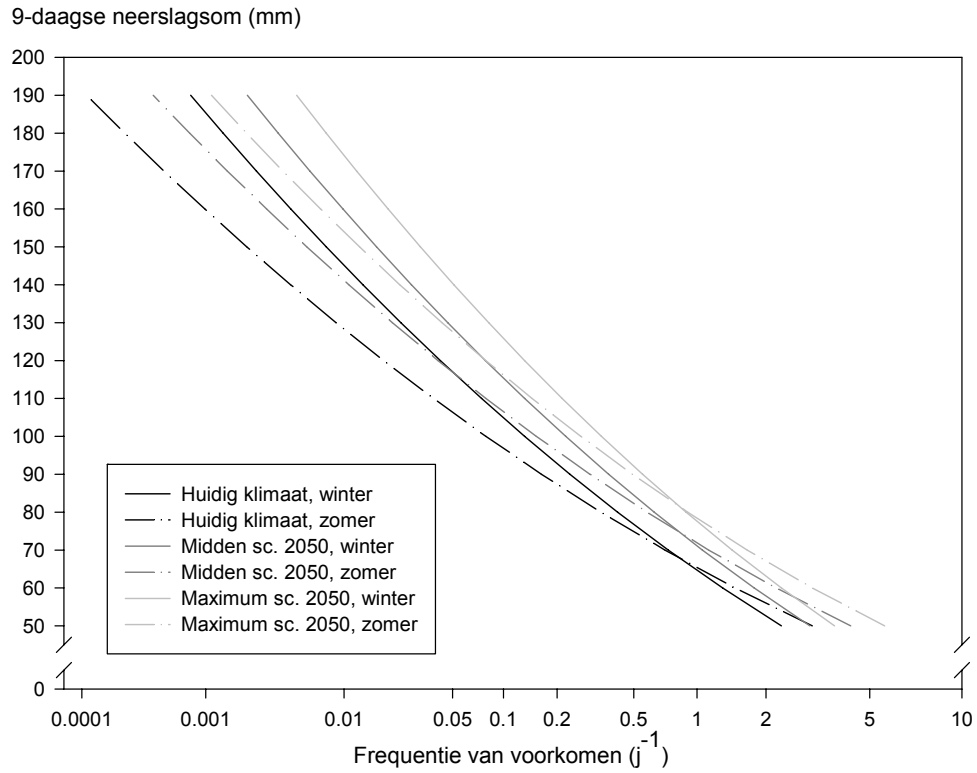
De gevolgde werkwijze voor de faalkansanalyse omvat een aantal stappen. Voor verschillende aspecten van het systeemfunctioneren zijn voor zomer en winter 4 stochasten gedefinieerd die betrekking hebben op een 9-daagse 'gebeurtenis':
- neerslagsom;
- neerslagverdeling;
- begintoestand (grondwater, bodemwater, oppervlaktewater);
- rivierwaterstand (niet of wel hoogwater in de Lek).

Aan alle mogelijke realisaties van de stochasten worden kansen toegekend; daarbij wordt aangenomen dat de stochasten onderling onafhankelijk zijn. Vervolgens worden alle mogelijke *combinaties* van realisaties - de mogelijke gebeurtenissen - doorgerekend met het model, en worden de uitkomsten gerangschikt naar oplopende grond- en oppervlaktewaterstand. Iedere combinatie heeft een bepaalde kans, en die wordt gebruikt voor het construeren van de cumulatieve kansverdeling die hoort bij de gerangschikte uitkomsten. Deze kansverdeling wordt aan een nadere analyse onderworpen, om te komen tot een faalkanskaart, waarin wordt aangegeven wat de herhalingstijd is van inundaties als gevolg van een ontoereikende afwatering. In de laatste stap wordt in combinatie met het grondgebruik de faalkans getoetst aan de zogenaamde NBW-normen (Nationaal Bestuursakkoord Water). In het navolgende worden allereerst de stochasten uitgewerkt, gevolgd door de analyse van de resultaten.

2.2 De stochasten

2.2.1 Neerslagsom

Als mogelijke meteorologische realisaties voor een 9-daagse periode zijn opeenvolgende neerslagtotalen gebruikt van 50-190 mm, met stappen van 10 mm. Deze zijn vastgelegd als een gemiddeld aantal keren per jaar dat de realisatie een bepaalde waarde aanneemt. Dit kan variëren van jaarlijks gemiddeld 5,6 keer voor 45-55 (50) mm in de zomer in het maximum klimaatscenario 2050, tot 1 keer per 12500 jaar voor b.v. 185-195 (190) mm neerslag in de winter in het huidige klimaat. De frequentieverdeling is in principe gebiedsafhankelijk en is door Versteeg en Kolen (2003) afgeleid voor HDSR. Aangenomen is dat realisaties met minder dan 45 mm in 9 dagen niet tot wateroverlastproblemen leiden. Ook is aangenomen dat realisaties van meer dan 195 mm in 9 dagen zo zeldzaam zijn dat het niet zinvol is deze door te rekenen. In Figuur 4 zijn de neerslagrealisaties met hun kansen grafisch weergegeven.



Figuur 4 Frequentie van voorkomen van 9-daagse neerslagsommen voor HDSR voor 3 klimaatscenario's, in zomer en winter (Versteeg en Kolen, 2003)

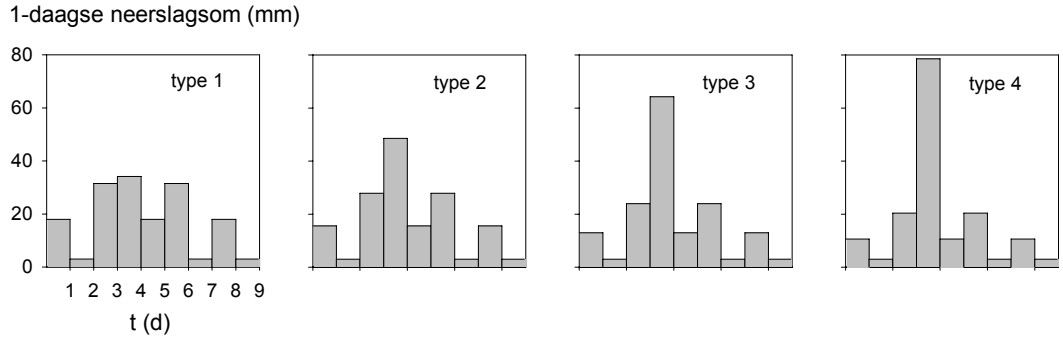
2.2.2 Neerslagverdeling

Per neerslagsom zijn er vier typen verdelingen. Voor b.v. 160 mm zien de verdelingen er uit als gegeven in Figuur 5. Voor de overige neerslagsommen zijn de verdelingen vergelijkbaar. De kans per type is vastgelegd in de onderstaande Tabel 1.

Tabel 1 Kans (%) van voorkomen van een neerslagtype

Type	Kans van voorkomen (%)	Omschrijving
1	10	Uniform
2	60	Gemiddeld laag
3	20	Gemiddeld hoog
4	10	Extreem

Bij het gebruik van de neerslagrealisaties in het model moest er een aanname worden gedaan met betrekking tot de verdeling van de neerslaghoeveelheden *binnen* een dag. Bij de stochastenberekeningen is aangenomen dat gezien de extreme hoeveelheden de gemiddelde regenduur in de zomer 6 uur en in de winter 12 uur is. Uiteraard zijn deze waarden niet anders te rechtvaardigen dan met 'expert judgement'.



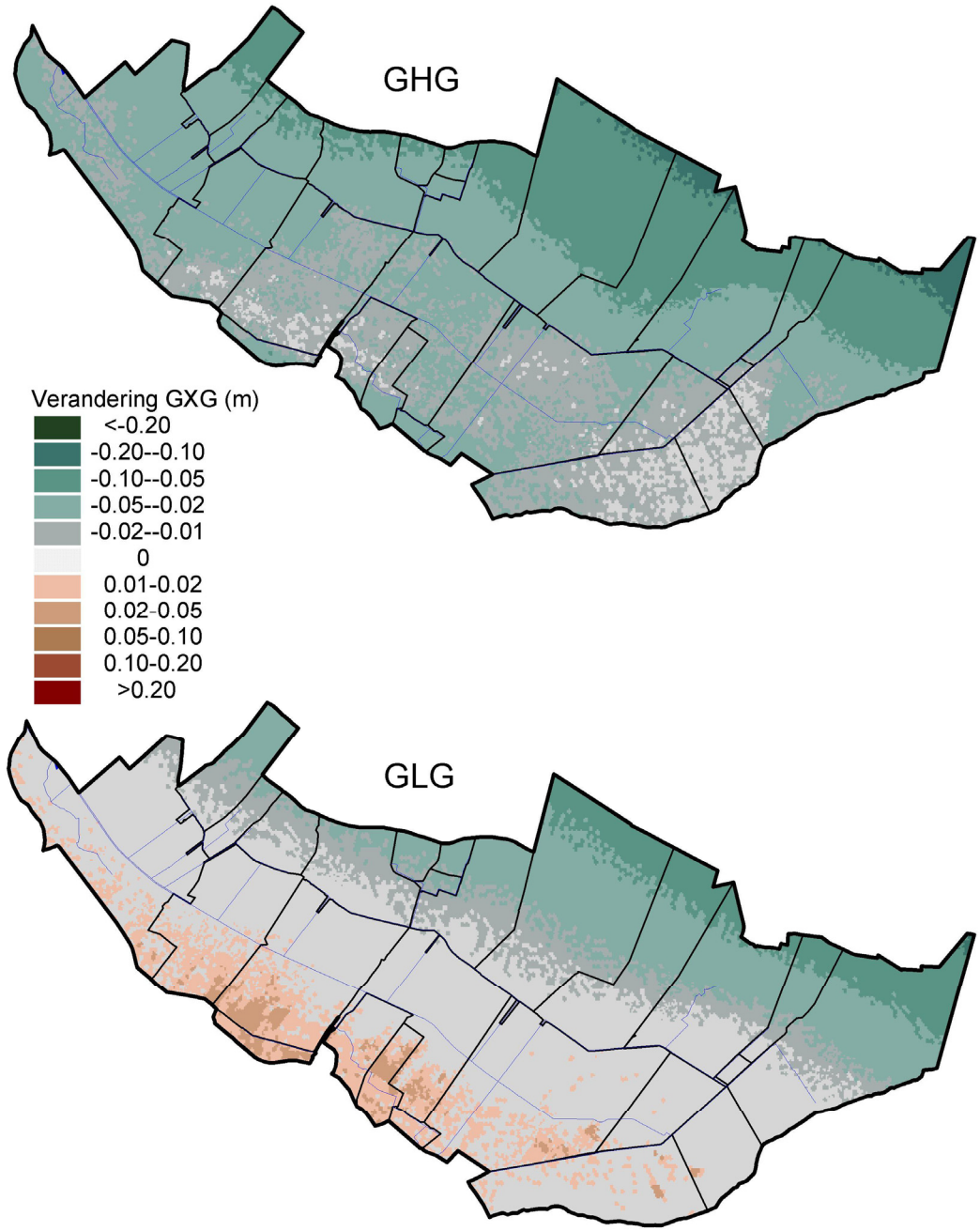
Figuur 5 Type neerslagverdelingen voor een neerslagsom van 160 mm (Versteeg en Kolen, 2003)

2.2.3 Begintoestand

Door Cirkel e.a. (2003) is geïllustreerd dat de stochastenmethode zeer gevoelig is voor begincondities. In deze stap is daarom met de beschikbare meteorologische reeksen (De Bilt) een kansverdeling bepaald van de toestand die men op een willekeurig moment in zomer/winter in het gebied kan aantreffen. In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de 30-jarige klimaatgemiddelden (1971-1999) van neerslag en verdamping voor zomer en winter. Deze tabel wordt hier gegeven om de interpretatie van de GHG- en GLG-effecten te faciliteren.

Tabel 2 Overzicht van klimaatgemiddelden van de gebruikte weerreeksen (De Bilt, 1971-1999), voor het huidige klimaat en twee klimaatscenario's. De potentiële verdamping (ET_{pot}) heeft betrekking op grasland

Waterbalansterm (mm/d)	Huidig klimaat	Middenscenario 2050	Maximumscenario 2050
N_{zomer}	2,050	2,069	2,088
$ET_{pot,zomer}$	2,434	2,539	2,636
N_{winter}	2,254	2,393	2,549
$ET_{pot,winter}$	0,510	0,523	0,546



Figuur 6 Verandering (+ = dieper) van de GHG en GLG als gevolg van het middenscenario voor 2050

De dertigjarige reeks is eerst gebruikt voor het draaien van het 'Amstelland-model' (Grontmij, 2002; Wendt, 1998), dat een groot deel van de Provincie Utrecht beslaat. Daaruit zijn randvoorwaarden gehaald voor het Langbroekerweteringmodel. Dat is gedaan voor de drie scenario's, en daaruit zijn onder meer GHG- en GLG-kaarten berekend. In Figuur 6 is het ruimtelijke beeld gegeven van de verandering van de GHG en de GLG. Gezien de verwachte toename van de neerslag tijdens het winterhalfjaar in toekomstige klimaatscenario's zal de GHG naar verwachting ondieper worden. Onder de Heuvelrug is het effect het grootst, omdat de grondwaterstandstijging daar niet wordt geremd door een actieve ontwatering. Het ruimtelijke beeld van de voorspelde verandering van de GLG vraagt om een nadere uitleg. Er is een verloop tussen de stijging onder de Heuvelrug naar een daling langs de zuidrand van het gebied. De daling langs de zuidrand wordt veroorzaakt door het dominante effect van de toename van de verdamping: via de capillaire opstijging wordt extra hard getrokken aan het grondwater, met een daling tot gevolg. Op de Heuvelrug heeft de toename van de potentiële verdamping een beperkt effect op de actuele verdamping, want het betreft daar zogenaamde hangwaterprofielen en daarvoor geldt: 'op is op'. Verder is het zo dat de extra winterneerslag onder de Heuvelrug lang in het geheugen van het systeem blijft vanwege het ontbreken van ontwatering. Dit effect is gedurende de hele zomer nog aanwezig, en heeft daardoor een stijging van de GLG tot gevolg. Het effect straalt uit in het lagere deel van het gebied, om ergens halverwege uit te doven. Vervolgens is er richting de zuidrand een omslag van stijging naar daling. De verandering van het middenscenario naar het maximumscenario voor 2050 ziet er vergelijkbaar uit.

Om te komen tot een kansverdeling van begintoestanden is eerst per tijdstap een gebiedsgemiddelde grondwaterstand bepaald. Door te sorteren is vervolgens de kansverdeling afgeleid. Het resultaat is uitgezet voor de huidige situatie en de twee klimaatscenario's in Figuur 7, voor zomer en winter. Te zien is dat de klimaatscenario's een kleine verschuiving van de kansverdelingen tot gevolg hebben. Hieruit moet niet de voorbarige conclusie worden getrokken dat de stochast begingrondwaterstand niet klimaatgevoelig zou zijn. In de grafiek wordt namelijk een ruimtelijk gemiddelde gepresenteerd. Verder is duidelijk te zien dat als gevolg van klimaatverandering de verdelingen verder uit elkaar worden getrokken: de fluctuatie van zomer naar winter wordt groter. Deze analyse hebben we beperkt tot het aandachtsgebied van de studie, en daarbij is tevens geselecteerd op een GHG < 0.80 m -mv, omdat anders traag reagerende diepe grondwaterstanden te zeer het beeld gaan bepalen. Voor de hoogwater-overlastberekening is dat ongewenst.

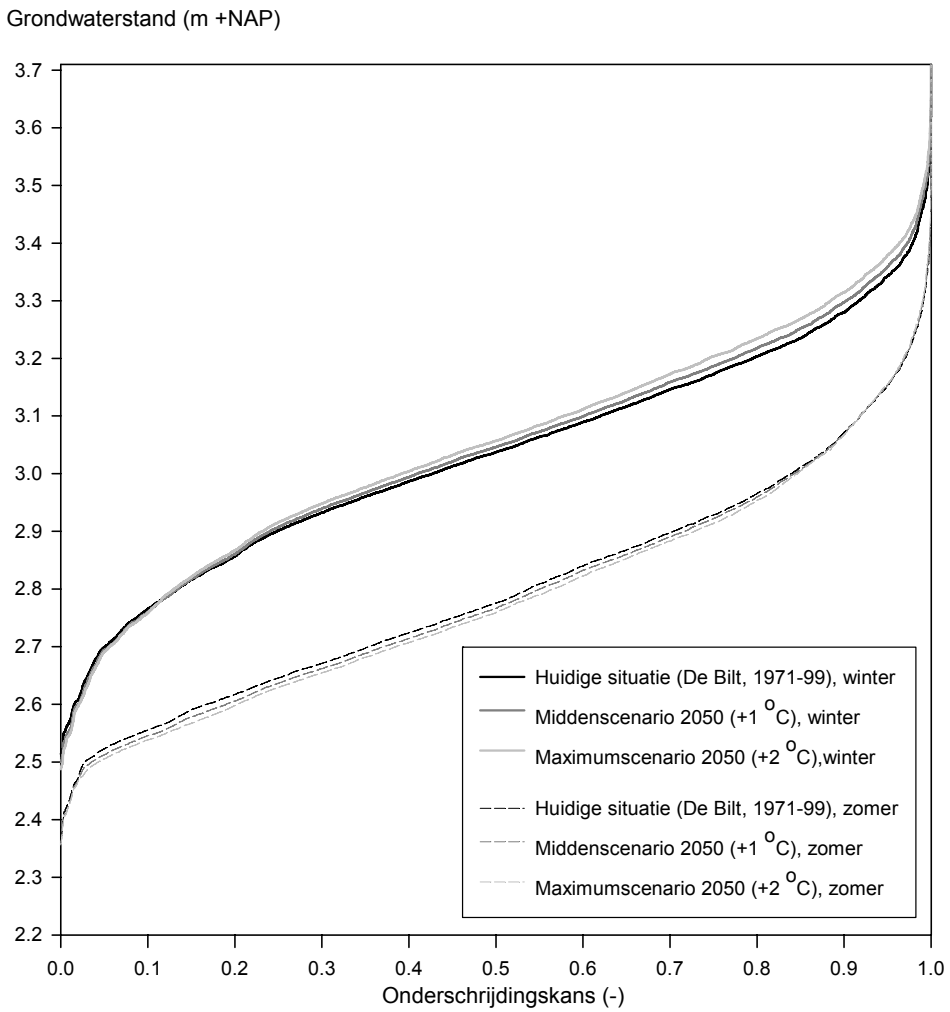
Het relatief kleine verschil tussen zomer en winter komt doordat de analyse zich beperkt tot het nattere deel van het studiegebied. In dat deel is er veel kwel, en 'hangt' het grondwater als het ware aan de ontwatering.

Vervolgens is de kansverdeling gebruikt om begintoestanden te bepalen. Concreet zijn aan de hand van de kansverdeling vier tijdstippen gekozen die overeenkomen met de representatieve punten van de kansverdeling die is gegeven in Tabel 3. De hydrologische situaties op die tijdstippen zijn gebruikt als begintoestanden van de 9-daagse stochastenberekeningen. Daarbij is de daaraan gekoppelde wortelzonevocht-

voorraad en oppervlaktewaterstand als 'volgend' beschouwd. Door deze werkwijze wordt voorkomen dat gedurende de eerste paar dagen een 'hydrologisch wildwest' ontstaat als gevolg van onbalansen in het systeem. Voor deze ruimtelijke hydrologische consistentie wordt overigens wel een prijs betaald: als men kijkt naar de bijbehorende kansverdelingen per punt dan kunnen die afwijken van het gemiddelde beeld.

Tabel 3 Kansverdeling van de begincondities en keuze van representatieve punten erin gebaseerd op de kansverdeling van de gemiddelde grondwaterstand in het aandachtsgebied

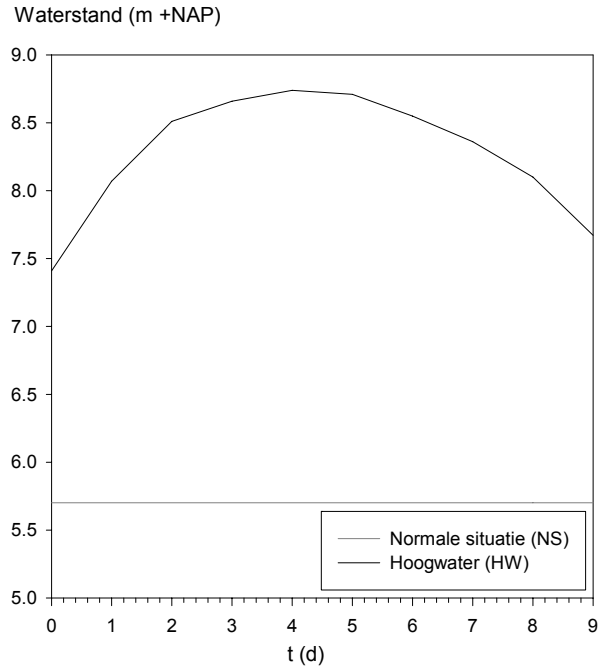
Interval van cumulatieve kansverdeling (%)	Representatief punt in de cumulatieve kansverdeling (%)	Kans van voorkomen (%)
0-40	20	40
40-70	55	30
70-90	80	20
90-100	95	10



Figuur 7 Kansverdeling van de gemiddelde grondwaterstand in het aandachtsgebied (gemiddeld maaiveld van 3.71 m +NAP) gebaseerd op 1-daagse grondwaterstanden voor een rekenperiode van 30 jaar

2.2.4 Rivierwaterstanden

De rivier de Lek vormt een belangrijke randvoorwaarde van het systeem aan de zuidzijde van het interessegebied. Onder normale omstandigheden is er (vrijwel) geen stroming in de rivier als gevolg van de stuw bij Amerongen. Het peil in het bovenpand is dan ongeveer 5.70 m +NAP en in het benedenpand 3.00 m +NAP. Deze situatie kan snel veranderen bij het passeren van een hoogwatergolf. Als criterium voor het wel of niet kenmerken van de situatie als 'hoogwater' is genomen het niveau 7.40 m +NAP (bij het Ingense Veer), zijnde het niveau waarbij men ertoe overgaat om (via het opendraaien van afsluitbare duikers) water in de uiterwaarden te laten stromen. Met dat criterium zijn de waterstanden van de periode 1971-1999 onderzocht. In die periode bleek gedurende 89 uit 12000 dagen het water boven de 7.40 m +NAP uit te komen. Daarvan waren er 16 dagen in het zomerhalfjaar. Daaruit is afgeleid dat de kans op hoogwater in de winter (op een willekeurige dag) 73/6000 = 0.012 bedraagt. Deze rekenwijze heeft geleid tot de kansen die zijn opgenomen in Tabel 4. Als een typisch hoogwater is het in Figuur 8 gegeven verloop gebruikt, zijnde een situatie die tot een paar decimeter onder het MHW-niveau (Maximaal Hoogwater) reikt. Voor de klimaatscenario's is aangenomen dat de hoogwatergolf er hetzelfde uitziet, en dat de kans even groot blijft. Er wordt dus van uit gegaan dat in het Rijnstroomgebied het principe van 'niet afwentelen' (van effecten van klimaatverandering) wordt gerespecteerd. Tevens is aangenomen dat het voorkomen van een hoogwatergolf alleen afhankelijk is van het seizoen.



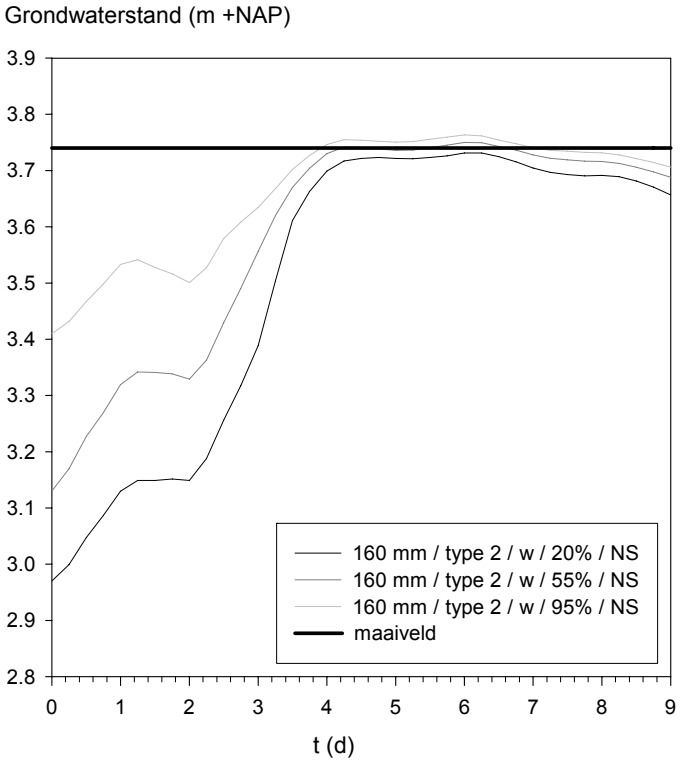
Figuur 8 Aangenomen verloop van de rivierwaterstand in de normale situatie en tijdens een hoogwatergolf

Tabel 4 De kans (%) van voorkomen van rivierwaterstanden op de Lek op basis van een meetreeks van 1971-1999

Situatie	Zomer	Winter
Normaal	99.73	98.80
Hoog	0.27	1.20

2.3 Faalkansberekening

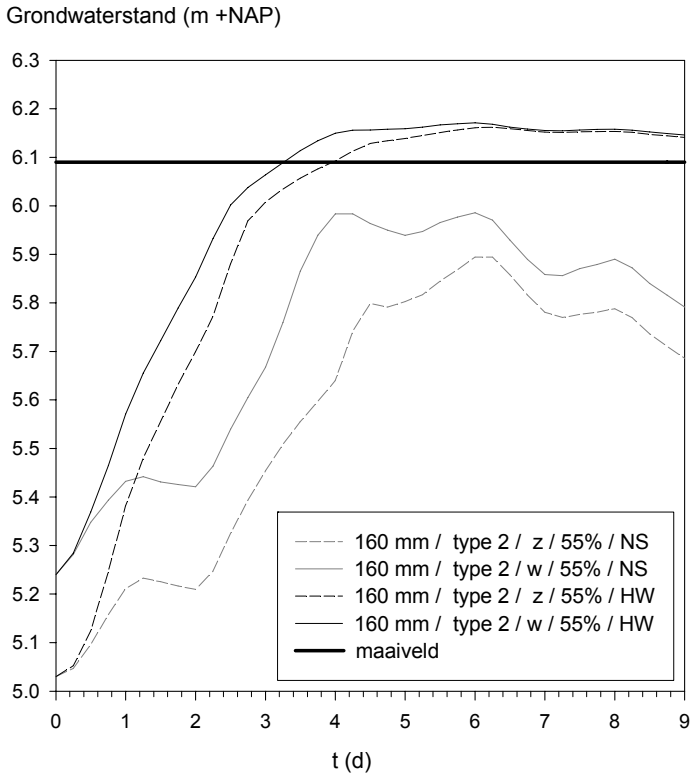
Ten behoeve van de faalkansberekening zijn per klimaatscenario alle mogelijke combinaties van realisaties doorgerekend; in totaal gaat het per scenario om 4 (begintoestanden) X 15 (neerslagsommen) X 4 (typen neerslagverdelingen) X 2 (riviersituaties) X 2 (seizoenen) = 960 combinaties. Een aantal van de uitgevoerde berekeningen wordt ter illustratie getoond voor een geselecteerde knoop. In Figuur 9 betreft dat de invloed van de begintoestand, in Figuur 10 de invloed van winter/zomer en niet/wel hoogwater in de rivier, in Figuur 11 de invloed van de totale neerslaghoeveelheid, en in Figuur 12 de invloed van de neerslagverdeling.



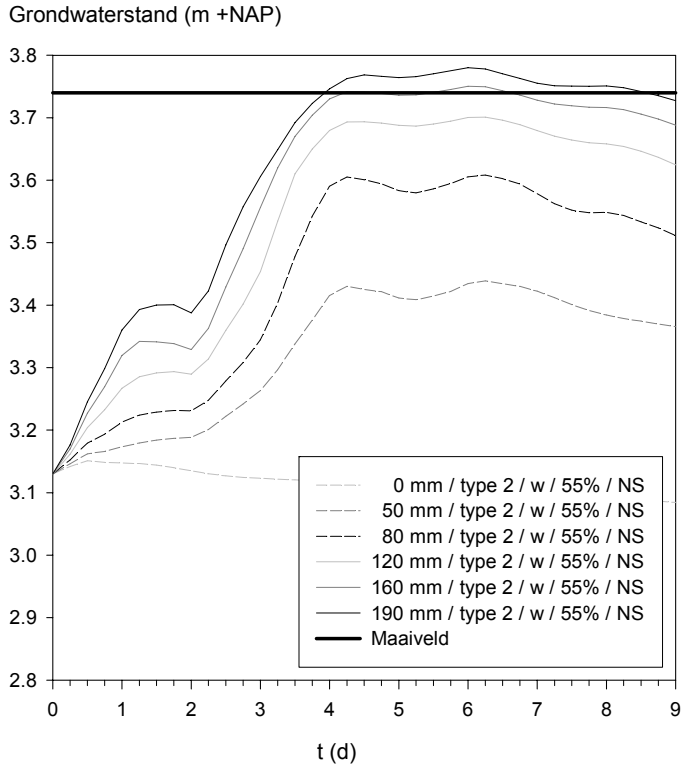
Figuur 9 Voorbeeld van drie gebeurtenissen met verschillende begintoestanden. Het gaat hierbij om gebeurtenissen met een neerslagtotaal van 160 mm in 9 dagen, type verdeling 2, winter, 20/55/95% onderschrijdingskans begingrondwaterstand, en geen hoogwater in de rivier

Bij de verwerking van de uitkomsten zijn de volgende stappen gemaakt:

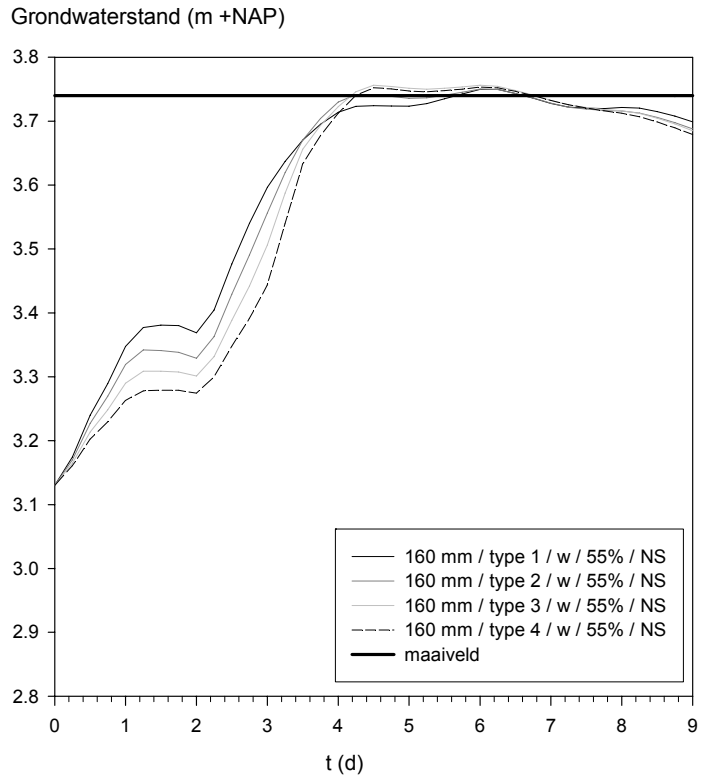
- per berekening en per knooppunt van het model is de maximaal optredende grond- en opperwaterstand bepaald;
- via het AHN-bestand is dat omgezet naar waarden per pixel van 25*25 m, waarbij een trapvormig verloop van grondwaterstanden is aangenomen tussen de invloedsoppervlakken van de knooppunten;
- per pixel wordt aan de hand van de kansverdeling de inundatie bepaald behorend bij herhalingstijden van respectievelijk 10, 25, 50, 100 en 250 jaar;
- dat wordt eveneens gedaan voor de optredende peilen in het oppervlakte-watersysteem.



Figuur 10 Voorbeeld van gebeurtenissen in winter/zomer (w /z) met niet/wel (NS/HW) hoogwater in de rivier



Figuur 11 Voorbeeld van gebeurtenissen met oplopende totale hoeveelheid neerslag

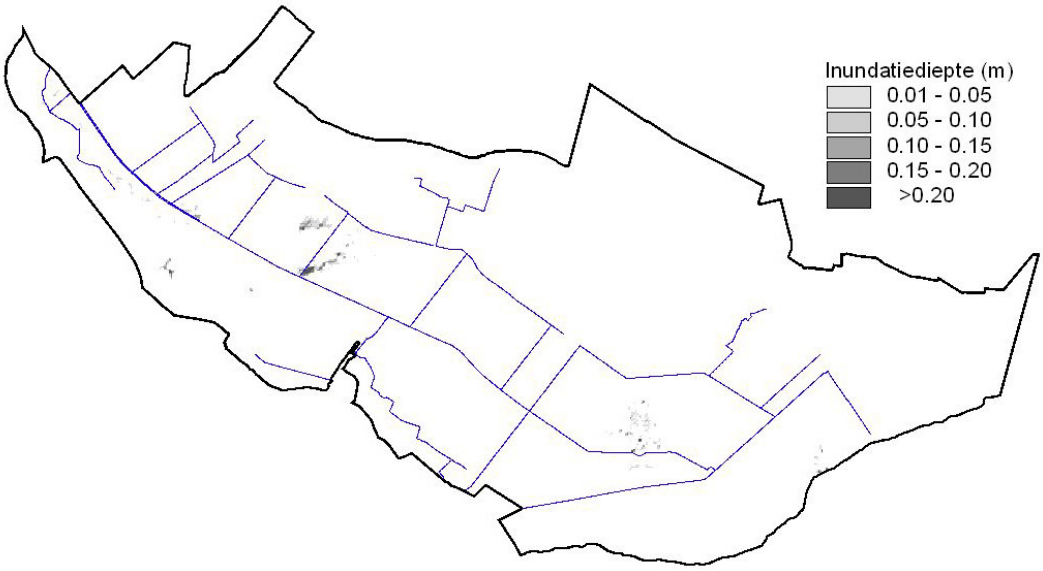


Figuur 12 Voorbeeld van gebeurtenissen met verschillende typen neerslagverdeling

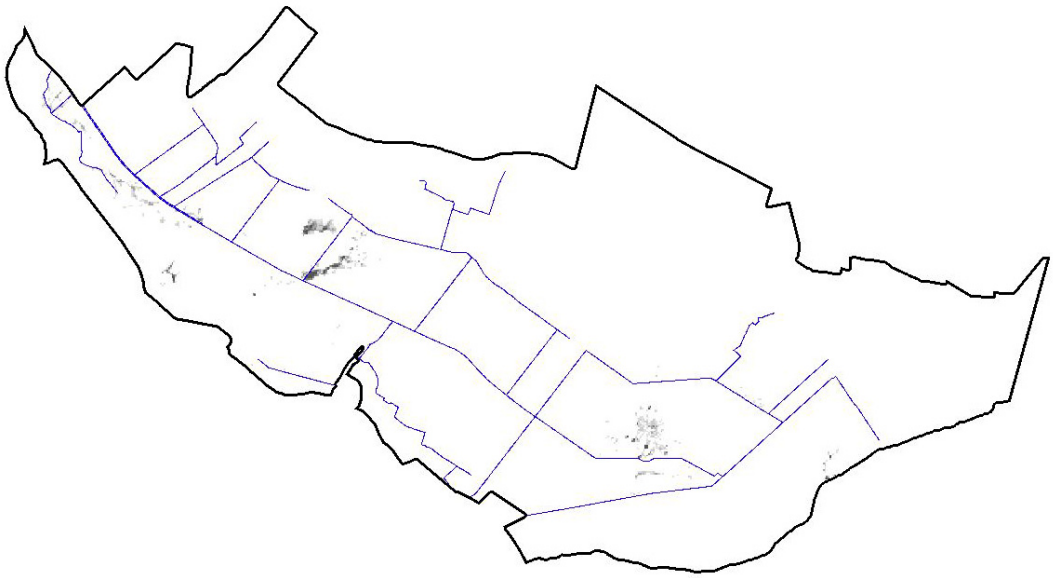
Bij de interpretatie van uitkomsten dient men te bedenken dat situaties met grondwater-tot-in-het-maaiveld niet persé het gevolg hoeven te zijn van het falen van het afwateringssysteem: de inundaties kunnen ook het gevolg zijn van een slechte ontwatering (hoge drainageweerstand). Voor de toetsing van het afwateringssysteem is het nodig te weten op welke plekken sprake is van een 'negatieve drooglegging'. Het is namelijk op die plekken dat er inundatie kan ontstaan vanwege het 'falen' van het afwateringssysteem. In Figuur 13 wordt deze negatieve drooglegging in de legenda met 'inundatiediepte' aangegeven. Daaruit blijkt dat in de AGOR het afwateringssysteem vrijwel nergens inundatie veroorzaakt. In het maximum-klimaatscenario (Figuur 14) blijkt het gebied met (potentiële) inundatie enigszins te zijn toegenomen. Vervolgens worden in Figuur 15 en Figuur 16 de faalkanskaarten gegeven onder het huidige klimaat en onder het maximum-klimaatscenario voor 2050. In Tabel 5 worden de totale arealen gegeven die met een bepaalde herhalings-tijd vanuit het oppervlaktewater (potentieel) worden geïnundeerd. Daaruit blijkt dat het areaal met een bepaalde herhalingstijdklasse globaal verdubbelt in het midden-klimaatscenario en (globaal) wederom verdubbelt in het maximumscenario.

Tabel 5 Geïnundeerd oppervlak (ha) als gevolg van het falen van het afwateringssysteem (op een totaal gebiedsareaal van 6776 ha)

Herhalingstijd (j)	Huidig klimaat	Middenscenario 2050	Maximumscenario 2050
0-10	3.0	6.2	21.6
10-25	5.9	13.8	20.8
25-50	11.4	16.0	33.3
50-100	12.2	27.3	48.8
100-250	29.9	59.6	137.2
> 250	6713.6	6653.1	6514.4



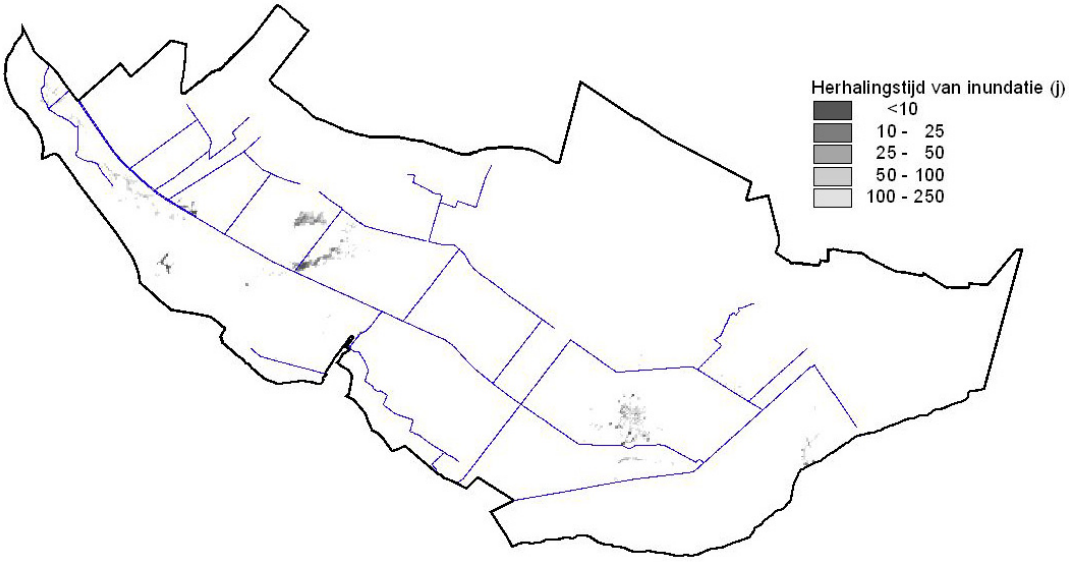
Figuur 13 Inundatiediepte met een herhalingstijd van 100 jaar onder het huidige klimaat



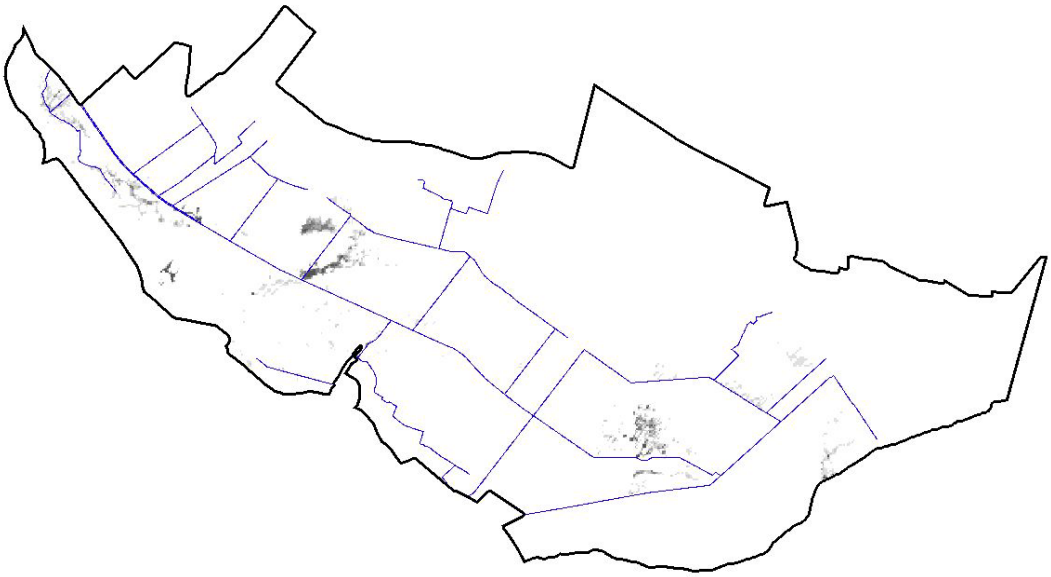
Figuur 14 Inundatiediepte met een herhalingstijd van 100 jaar onder het midden-klimaatscenario voor 2050

Ten slotte is er per klimaatscenario een toetsing uitgevoerd aan de hand van de NBW-normen (Figuur 17 en Figuur 18). Daarbij is uitgegaan van een minimale inundatie-herhalingstijd van >10 jaar voor grasland om te 'voldoen'. Dus bij een herhalingstijd ≤ 10 jaar faalt het systeem. Voor bouwland is als norm 25 jaar aangehouden, voor intensieve teelten 50 jaar, en voor stedelijk gebied 100 jaar. Volgens de simulatie faalt onder het huidige klimaat 0,06 % procent van het areaal; onder het midden-klimaatscenario wordt dat 0,12%..

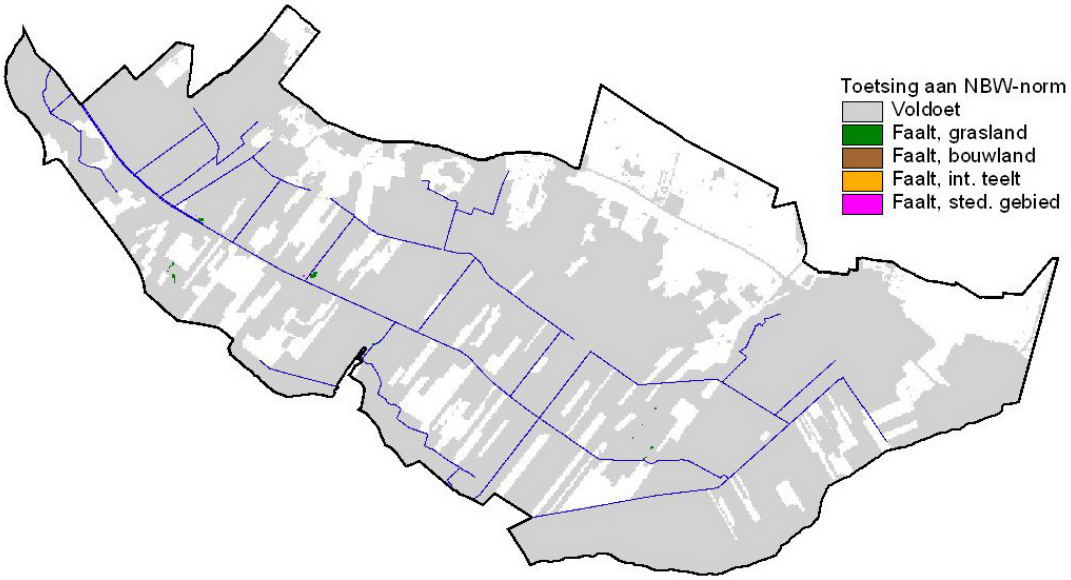
In de praktijk van het waterbeheer wordt ingecalculeerd dat de laagste 5% binnen een peilvak niet aan de normen voldoet. Deze gebieden zijn in Figuur 19 en Figuur 20 afgedekt.



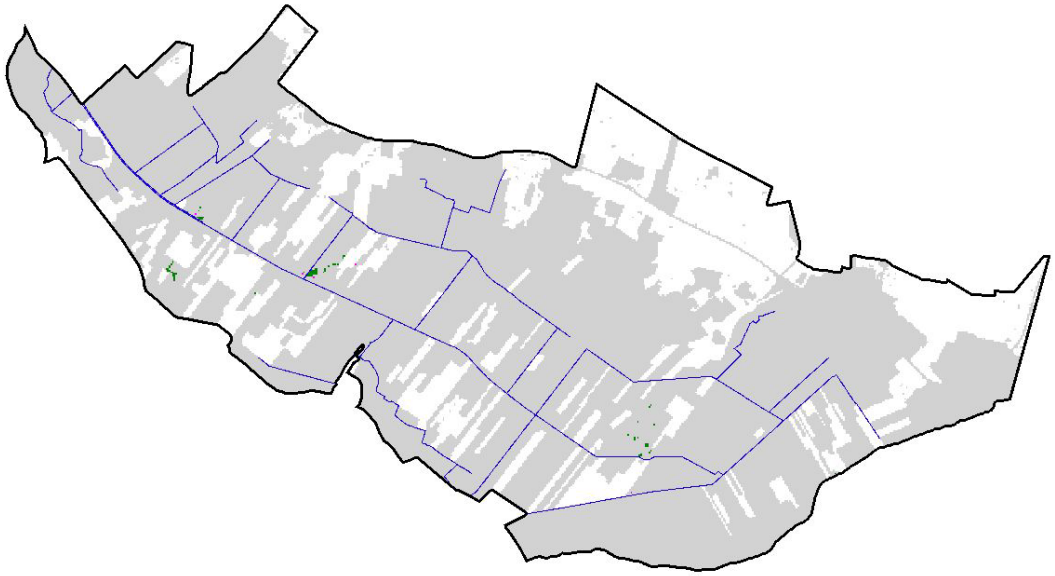
Figuur 15 Faalkanskaart voor de AGOR onder het huidige klimaat



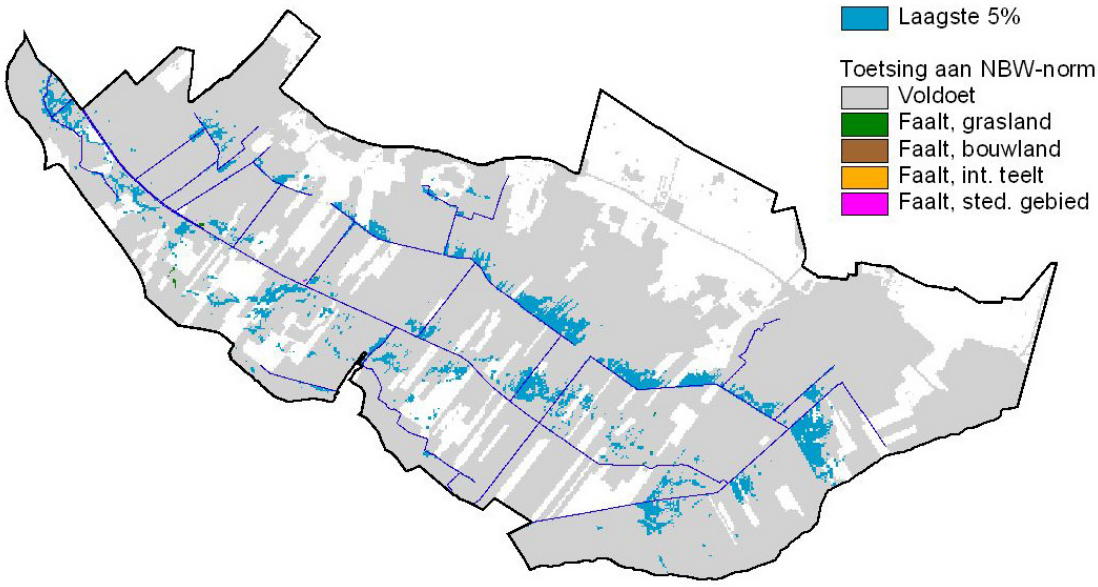
Figuur 16 Faalkanskaart voor de AGOR onder het midden-klimaatscenario voor 2050



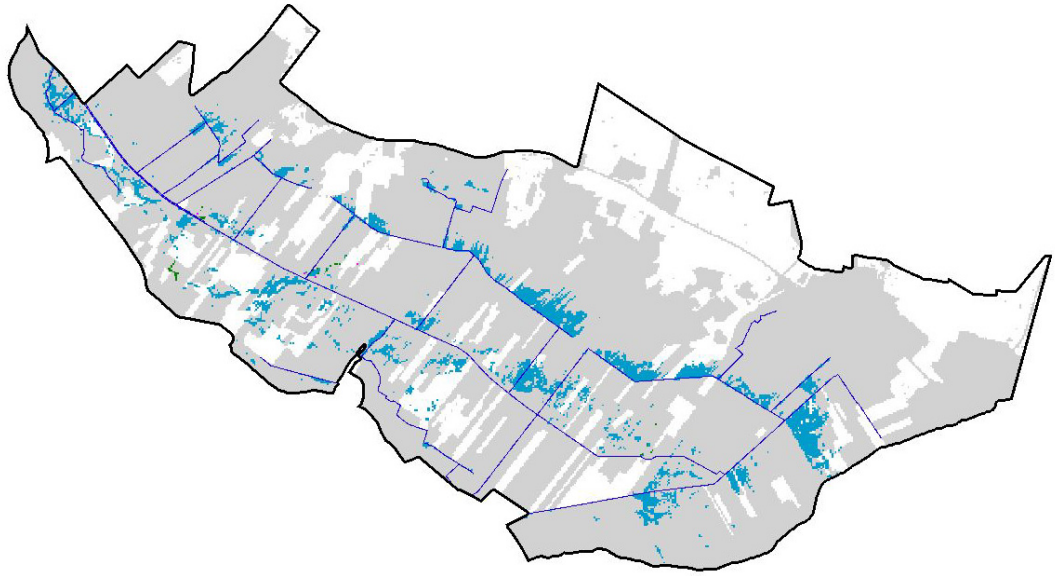
Figuur 17 Toetsing van faalkansen in de AGOR aan de NBW-normen, onder het huidige klimaat



Figuur 18 Toetsing van faalkansen in de AGOR onder het midden-klimaatscenario voor 2050

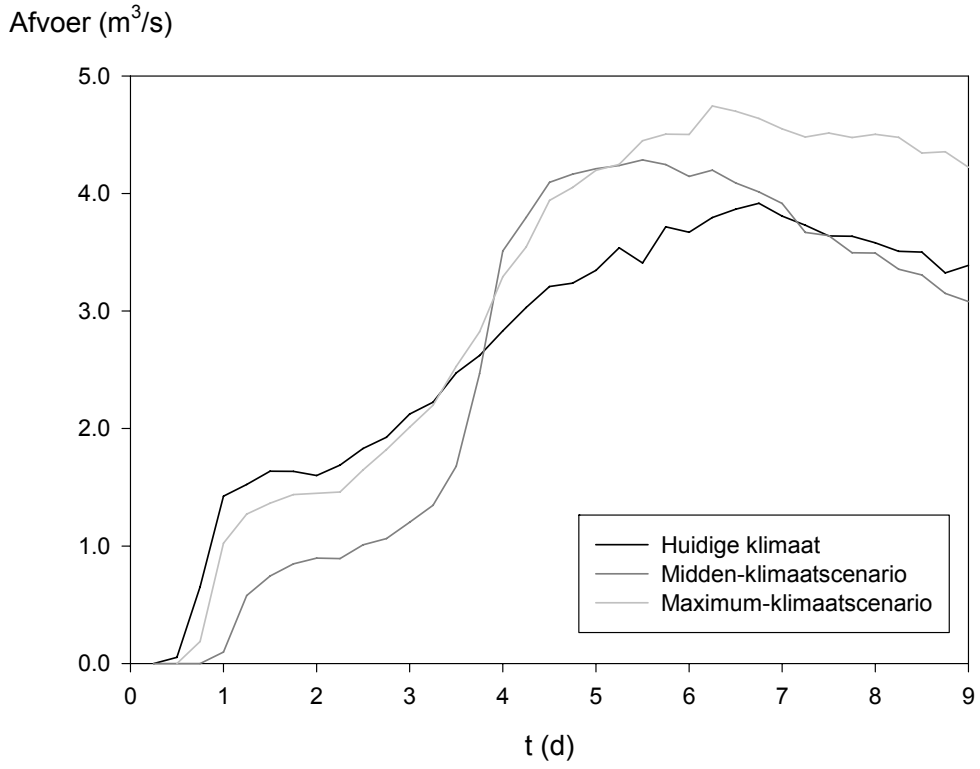


Figuur 19 Toetsing van faalkansen in de AGOR aan de NBW-normen, onder het huidige klimaat, met de laagste 5% van een peilvak afgedekt omdat daar in de praktijk geen rekening mee wordt gehouden



Figuur 20 Toetsing van faalkansen in de AGOR onder het midden-klimaatscenario voor 2050, met de laagste 5% van een peilvak afgedekt omdat daar in de praktijk geen rekening mee wordt gehouden

Ter illustratie van het klimaateffect is voor het uitstroompunt van het studiegebied nagegaan welke combinatie van stochasten overeenkomt met een herhalingstijd van 100 jaar voor de afvoer. Dat is tevens gedaan voor het midden-klimaatscenario in 2050. In het huidige klimaat gaat het om een gebeurtenis met een neerslagsom van 120 mm in 9 dagen, en in het klimaatscenario om een neerslagsom van 150 mm, overigens vanuit een andere beginsituatie. Het klimaateffect is in dit geval een toename van de piekafvoer met circa 20%.



Figuur 21 Klimaateffect op de afvoergebeurtenis (bij het uitstroompunt van Langbroekerweteringgebied) met een herhalingstijd van 100 jaar

3 Selectie van locaties voor nieuwe natuur

3.1 Inleiding

De Projectgroep Langbroekerwetering heeft onder meer als taakstelling het doen van voorstellen ten aanzien van aantrekkelijke locaties voor nieuwe natuur. Daarbij dient zich de vraag aan met welke tijdshorizon naar het gebied moet worden gekeken: naar de omstandigheden in het heden, of naar de mogelijke omstandigheden in de toekomst. Gezien de voornemens om het waterbeheer te wijzigen ligt een op de toekomstgerichte blik voor de hand – maar dan blijft open de vraag om 'welke' toekomst het dan gaat. In overleg met de projectgroep is de keuze gemaakt:

- het modelinstrumentarium (voorlopig) alleen te gebruiken voor een verkenning van lokale maatregelen zoals het verondiepen van sloten, maar dus niet naar het opheffen van drinkwateronttrekkingen, grote infrastructurele werken enz.
- voor een verkenning naar de maximale natuurmogelijkheden gebruik te maken van een methode die ook kijkt naar het bodemtype en het reliëf.

In het navolgende wordt achtereenvolgens eerst ingegaan op de hydrologische situaties die bij de verkenning van gebiedsmogelijkheden zijn gebruikt. Vervolgens worden voor die mogelijke situaties drie soorten ecologische evaluaties gepresenteerd. Ten slotte wordt toegelicht hoe de selectie van nieuwe natuur tot stand is gebracht.

3.2 Eerste verkenning hydrologie en ecologie

3.2.1 Hydrologische situaties

Als eerste stap in de selectie van nieuwe natuur zijn de volgende hydrologische situaties naast elkaar in beeld gebracht:

- AGOR, het Actueel Grond- en Oppervlaktewaterregime;
- VGOR-max-natuur, het Verwachte Grond- en Oppervlaktewaterregime, bij maximalisatie van het lokale waterbeheer ten behoeve van natte natuur;
- RGOR, het Referentie Grond- en Oppervlaktewaterregime (Van Ek e.a., 1997).

Voor het AGOR is genomen de laatste run van de calibratie (Hermans e.a., 2004). Als rekenperiode is genomen 1 april 1989 tot 1 april 2000. Die periode is namelijk representatief gebleken voor het bestaande klimaat. De in Aanhangsel 2 opgenomen kaarten van GHG, GVG en GLG zijn verkregen na een zogenaamde 'neerschaling', waarbij de variatie van het maaiveld gesuperponeerd is op de modeluitkomsten. Die neerschaling is gebaseerd op de aanname dat de grondwaterspiegel zich niets aantrekt van de lokale variaties van het maaiveld zoals gegeven door het 5m*5m grid van het AHN (Algemeen Hoogtebestand Nederland). Voor ecologische toepassingen zijn juist de variaties interessant, want de lokale ondieptes zijn vaak ecologisch kansrijk. De in Aanhangsel 2 gepresenteerde 'ecologisch relevante kwel' wordt verkregen op basis van een lopende waterbalans van de neerslaglens. Alleen in situaties dat de lens

verdwenen is, wordt de kwel geteld als ecologisch relevant. De rest van de kwel verdwijnt direct in de waterlopen en komt niet of nauwelijks in contact met de terrestrische vegetatie (van Walsum e.a., 2001).

Het VGOR-max-natuur is verkregen door van alle modelknopen die in de AGOR landbouwgrond of natuurgebied betreffen, de invoerparameters als volgt te wijzigen:
- het landgebruik wordt omgezet naar natuurlijk grasland;
- de eventueel aanwezige beregening wordt afgeschaft;
- de afwateringsleidingen worden aangepast zodat ze niet dieper zijn dan 0,80 m; de breedte blijft ongewijzigd;
- de sloten worden aangepast zodat ze niet dieper zijn dan 0,6 m, niet breder zijn dan 0,6 m, en minstens 150 m uit elkaar liggen;
- de drains worden verwijderd;
- de greppels in de (bolvormige) percelen worden geblokkeerd tot 0,1 m beneden gemiddeld maaiveld (op knooppuntsniveau).

Voor het VGOR-max-natuur zijn dezelfde kaarten opgenomen in Aanhangsel 2.

De methode voor de bepaling van het RGOR wordt in het kort besproken in Aanhangsel 1; de verkregen kaarten zijn opgenomen in Aanhangsel 2. Het RGOR is alleen uitgebeeld voor het pleistocene gedeelte, want voor het Holoceen zijn geen uitkomsten beschikbaar; daar is die methode niet goed bruikbaar omdat uit het bodemtype (er komen merendeels vaaggronden voor) onvoldoende informatie is af te leiden over de vroegere waterhuishouding.

In de figuren zijn een natte zone ten zuiden van de Utrechtse Heuvelrug zichtbaar en in de zuidelijke helft een patroon van geulen en stroomruggen. Opvallend in alle figuren is het gestreepte patroon dat in een groot gedeelte van het gebied zichtbaar is. Dat is een direct gevolg van de maaiveldhoogte die in het lage deel tussen de sloten en greppels wat opbolt. De grondwaterstand heeft ten opzichte van NAP een vlakker verloop waardoor er op korte afstand verschillen in standen ten opzichte van maaiveld zichtbaar zijn. Het vlakke grondwaterstandverloop is het gevolg van de grote zoekstraal die is gebruikt om historische regionale grondwaterpatronen beter te kunnen benaderen. Het gevolg is wel dat lokale patronen (binnen de percelen) verloren gaan. In werkelijkheid zal ook de GHG en in mindere mate de GVG een opbolling vertonen tussen de sloten en zal het strepenpatroon minder duidelijk zijn. Bij het ook hier gebruiken van een neerschalingsprocedure zou dit probleem voorkomen kunnen worden.

Vergelijking van de kaartbeelden tussen het AGOR en VGOR-max (Aanhangsel 2) laat zien dat de hydrologie zeer gevoelig is voor lokale ingrepen. Verder blijkt dat in het RGOR de GVG in de strook grenzend aan het holocene gedeelte circa een klasse natter is dan het VGOR-max. Het verschil met de kwel is naar verhouding nog forser. Op grond van de bodempatronen lijkt juist in de randzone langs de Utrechtse Heuvelrug veel kwel te zijn opgetreden in het verleden.

3.2.2 Ecologische evaluaties

De drie soorten ecologische evaluatie zijn:
- met het Waternood-instrumentarium bepaalde doelrealisatie uitgaande van de huidige natuurdoelen (UNAT);
- met het Waternood-instrumentarium bepaalde doelrealisatie in de situatie dat overal de UNAT schraalgrasland (ri-3.04) wordt nagestreefd ('UNATsg'). Deze UNAT omvat zowel schraalgraslanden als natte bloemrijke hooilanden. Nat schraalgrasland is de meest kritische soort en meest waardevol, en is daardoor een goede indicator voor situaties met een potentieel hoge biodiversiteit;
- met NATLES voorspelde voorkomen van ecotooptype G22, d.w.z. nat grasland op voedselarme zwak zure bodem (dit ecotype omvat alleen natte schrale graslanden, met name blauwgraslanden).

In Aanhangsel 2 zijn de resultaten weergegeven per combinatie van ecologische evaluatiemethode en hydrologie (AGOR, VGOR-max, RGOR). Die combinaties zijn daar gegroepeerd per ecologische evaluatiemethode. Hoewel het hydrologische basismateriaal een resolutie van 5m*5m heeft, zijn de doelrealisaties voor natuur toch op 25m*25m niveau gedaan, vanwege een beperking van het Waternood-instrument in het omgaan met grids van verschillende grootte.

De evaluaties aan de hand van de UNAT-kaart (Aanhangsel 3, kaarten UNAT_AGOR, UNAT_VGOR-max, UNAT_RGOR; zie Hermans e.a. 2004 voor de definiëring van de UNATS) laten zien dat bij het natter worden van de hydrologie de doelrealisatie in veel gevallen juist *achteruit* gaat in plaats van vooruit (gemiddeld neemt de doelrealisatie af van 81% naar 67%). Dat komt doordat de situatie te nat wordt voor het 'geplande' type natuur. In veel gevallen gaat het om 'droge' natuurdoeltypen die zijn afgestemd op de huidige relatief goed ontwaterde situatie.

Evaluaties aan de hand van UNAT-schraalgrasland laat zien (Aanhangsel 3, kaarten UNATsg_AGOR, UNATsg_VGOR-max, UNATsg_RGOR) dat de realisatie gevoelig is voor de hydrologische situatie, en dat in bijna alle gevallen de realisatie toeneemt bij het natter worden van de hydrologie. Aan de hand van de UNAT-schraal-grasland het mogelijk om nieuwe natuurgebieden met 'natte natuurdoeltypen' te selecteren.

Evaluatie met NATLES laat zien (Aanhangsel 3, kaarten NATLES_VGOR-max en NATLES_RGOR) dat in het AGOR op geen enkel plekje aan de eisen voor blauwgrasland wordt voldaan (kaart niet opgenomen). In het VGOR-max zijn er enkele plukjes, en in het RGOR is er een flink areaal. De oorzaak van dit grote verschil is dat in het AGOR en VGOR-max natte kwelsituaties vrijwel alleen voorkomen op kleigronden. Voor blauwgraslanden die beperkt zijn tot zand- en veengronden is dit bodemtype te rijk.

Verder blijkt uit de evaluaties dat herstel van kwelgevoede voedselarme schraalgraslanden (en de bijbehorende overgangen naar heischraal grasland en natte heide) in de randzone langs de Utrechtse Heuvelrug met alleen peilmaatregelen nauwelijks te realiseren is.

3.3 Selectieprocedure

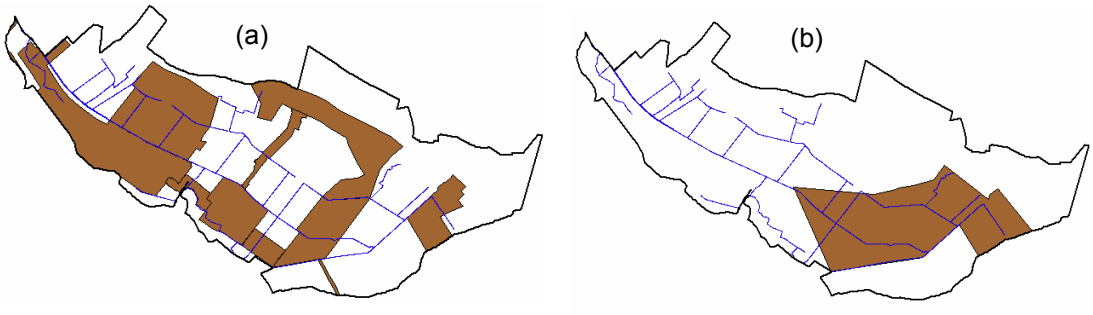
3.3.1 Planningseenheden

Bij de procedure voor selectie van nieuwe natuur zou als ruimtelijke resolutie in principe de knooppuntsvlakken van het SIMGRO-model gebruikt kunnen worden. Maar voor het plannen van wijzigingen in landgebruik en waterbeheer is het praktischer om vooraf een indeling in zogenaamde planningseenheden te maken, om daarmee het aantal ruimtelijke eenheden sterk te beperken. Binnen een planningseenheid wordt vervolgens een uniforme maatregel voorgesteld. Om te beginnen betreft dat dus de omzetting van een deel van de eenheden naar nieuwe natuur.

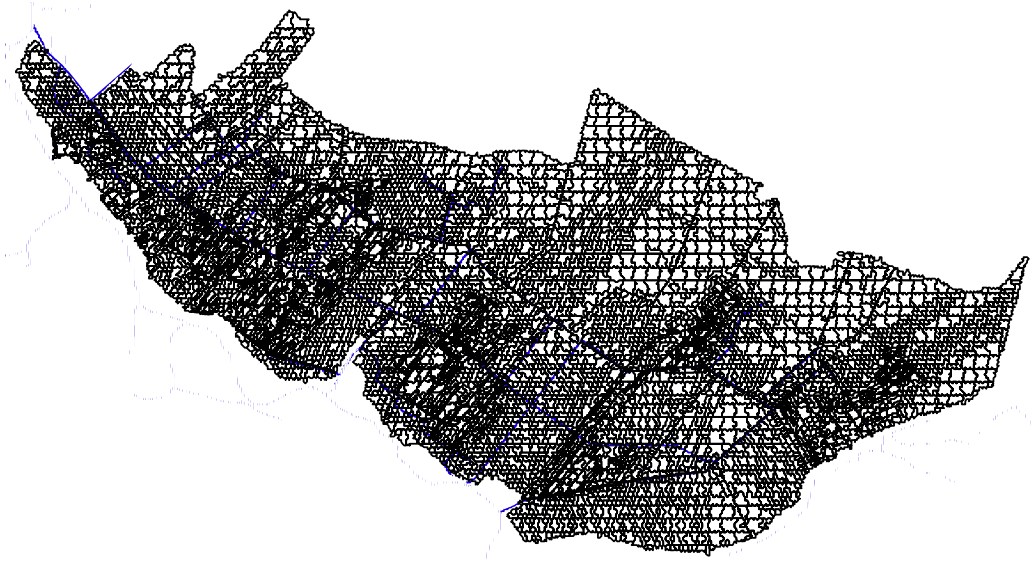
Om bruikbaar te zijn moet de kaart met planningseenheden dan wel rekening houden met beleidsrelevante grenzen, zodat die bij de implementatie van maatregelen gerespecteerd kunnen worden. Daarom is rekening gehouden met de volgende kaarten van:

- het zoekgebied;
- de bestaande natuur;
- de afwateringseenheden en peilgebieden.

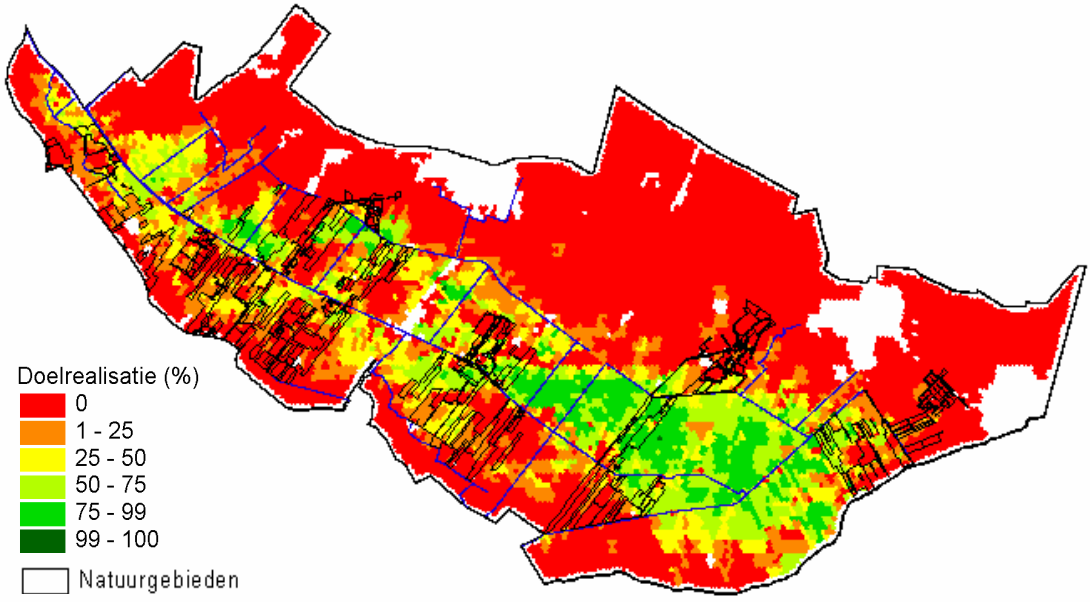
De zoekgebieden zijn weergegeven in Figuur 22. Om langwerpige ruimtelijke eenheden te vermijden is er ook een grid van 200*200 m overheen gedaan, zodat een planningseenheid nooit groter kan zijn dan 4 ha. Om rekening te houden met de vertaling naar modelinvoer, is ook rekening gehouden met de modelcellen rondom de modelknopen, de zogenaamde invloedsoppervlakken. Deze cellen fungeren als kleinste mogelijke planningseenheid. De uiteindelijke afgeleide eenheden bestaan dus uit één of meer modelcellen, met een maximumgrootte van 4 ha. Door deze werkwijze is tevens voorkomen dat als gevolg van de GIS-overlays zeer kleine splinters van eenheden ontstaan. Het eindresultaat wordt getoond in Figuur 23, zijnde de kaart met ruim 6400 planningseenheden.



Figuur 22 Zoekgebied voor de nieuwe natuur volgens het 'Plan van Aanpak' (a) en 'Geconcentreerd' (b)



Figuur 23 Planningseenheden



Figuur 24 Doelrealisatie van UNAT-schraalgrasland in het VGOR-max, uitgebeeld als gemiddelde waarde per planningseenheid.

De planningseenheden kunnen ook gebruikt worden bij het *presenteren* van de berekende doelrealisaties. In Figuur 24 is uitgebeeld de doelrealisatie als gemiddelde per planningseenheid, voor het VGOR-max-natuur. Dit beeld is veel beter te 'lezen' dan de in Aanhangsel 3 gegeven doelrealisaties op pixel-niveau (UNATsg_VGOR-max-natuur).

3.3.2 Cyclisch selectieproces

De selectie van de meest geschikte locaties voor het natuurdoeltype nat schraalgrasland binnen het zoekgebied nieuwe natuur is uitgevoerd via een cyclisch proces van 'negatieve selectie', beginnend vanuit de situatie dat het hele gebied als landgebruik natuurlijk grasland heeft gekregen, en de hydrologische situatie volgens het VGOR-max-natuur. Per cyclus zijn de volgende stappen doorlopen:

- kies een bepaalde drempelwaarde van de Waternood-doelrealisatie van schraalgrasland volgens de definitie in de UNAT-systematiek;
- selecteer de gebieden die in de voorgaande simulatierun minimaal aan die drempel voldeden en die binnen het zoekgebied vallen;
- voeg daaraan toe de gebieden die volgens de methode van NATLES voldoen aan de eisen aan blauwgrasland, en die binnen het zoekgebied vallen; die worden dus altijd geselecteerd, onafhankelijk van de uitkomsten van de Waternood-doelrealisatie;
- geef de gebieden die geselecteerd worden het waterbeheer zoals gebruikt voor de berekening van het VGOR-max-natuur;
- pas de niet-geselecteerde gebieden als volgt aan:
    - zet het landgebruik om naar grasland, ook als het bestaande natuurgebied betreft;
    - verondiep afwateringsleidingen naar 0.8 m;
    - verondiep sloten naar 0.6 m, en geef ze een maximale breedte van 0.6 m; maak de afstand tussen de sloten minimaal 100 m;
    - verwijder alle (buis)drainages, maar laat greppels ongemoeid;
    - verwijder eventueel aanwezige beregening.

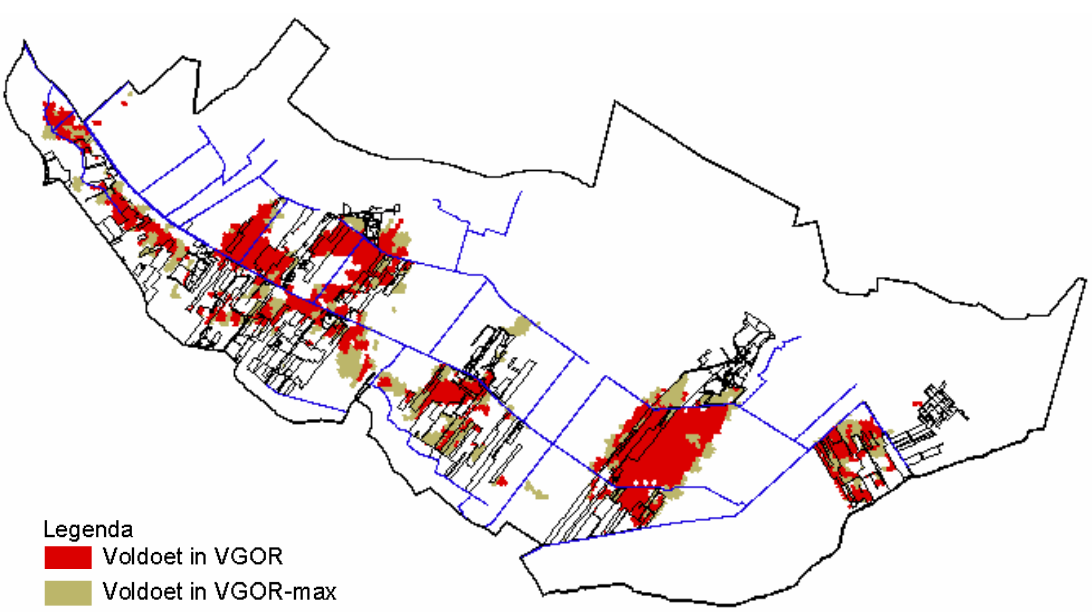
De gebieden die 'afvallen' (niet-geselecteerd) worden dus een waterhuishouding gegeven die 'op de pijngrens van vernatting' zit voor de landbouw (en wellicht daar iets overheen), om de potentie bij maximale buffering zichtbaar te maken. In de gebieden die afvallen voor nieuwe natuur wordt dus de waterhuishouding alleen eventueel in 'natte' richting aangepast; dat geldt dus ook als het bestaande natuur betreft.

Van de bestaande natuur is bij de selectieprocedure dus niets aangetrokken; ook die gebieden hebben eventueel een 'vernatting' opgelegd gekregen, volgens het VGOR-max-natuur of volgens de bovengenoemde maatregelen voor extensief grasland. Dit is overigens alleen gedaan om een zuiver selectieproces te krijgen voor de overige gebieden. Wat uiteindelijk de meest geschikte vorm van waterbeheer is in de bestaande natuur komt pas in een volgende fase aan de orde.

3.3.3 Resultaten

De procedure is gestart vanuit de situatie zoals berekend voor het VGOR-max-natuur, en vervolgens doorlopen voor de twee zoekgebieden. Daarbij is begonnen bij een doelrealisatie van 20%, en geëindigd bij 65% voor zoekgebied 'Geconcentreerd', (Figuur 22b) en 43% voor zoekgebied 'Plan van Aanpak' (Figuur 22a). Dat bij het eerstgenoemde zoekgebied geëindigd wordt bij een veel hogere criteriumwaarde dan bij het laatste komt doordat de geconcentreerde ligging van de nieuwe natuur veel gunstiger is: vanwege de locatie (natte kom in het westen van het studiegebied) en vanwege het elkaar versterken van natte natuur binnen een grote aaneengesloten ruimtelijke eenheid. In Figuur 25 is een overzicht gegeven van de keuze van nieuwe natuur binnen het zoekgebied van Figuur 22a (uit 'Plan van Aanpak').

In Figuur 25 is tevens aangegeven welke delen van het gebied nog overblijven na implementatie van maximaal haalbare maatregelen in de gebieden die 'afvallen': ten opzichte van het VGOR-max-natuur is dit een 'verslechtering'. De gebieden die afvallen blijven namelijk de functie landbouw behouden. Beheer als 'extensief grasland' wordt dan gezien als uiterste vernattingsoptie, die minder nat is dan het maatregelpakket van natte natuur zelf. Door na het maken van de natuurselectie het resterende landbouwgebied om te zetten naar het beheer van extensief grasland ontstaan negatieve randeffecten in de gebieden die *wel* zijn geselecteerd, die daardoor alsnog kunnen afvallen bij de gehanteerde norm. Het gebied dat overblijft is hier aangegeven met het rode gebied van Figuur 25.

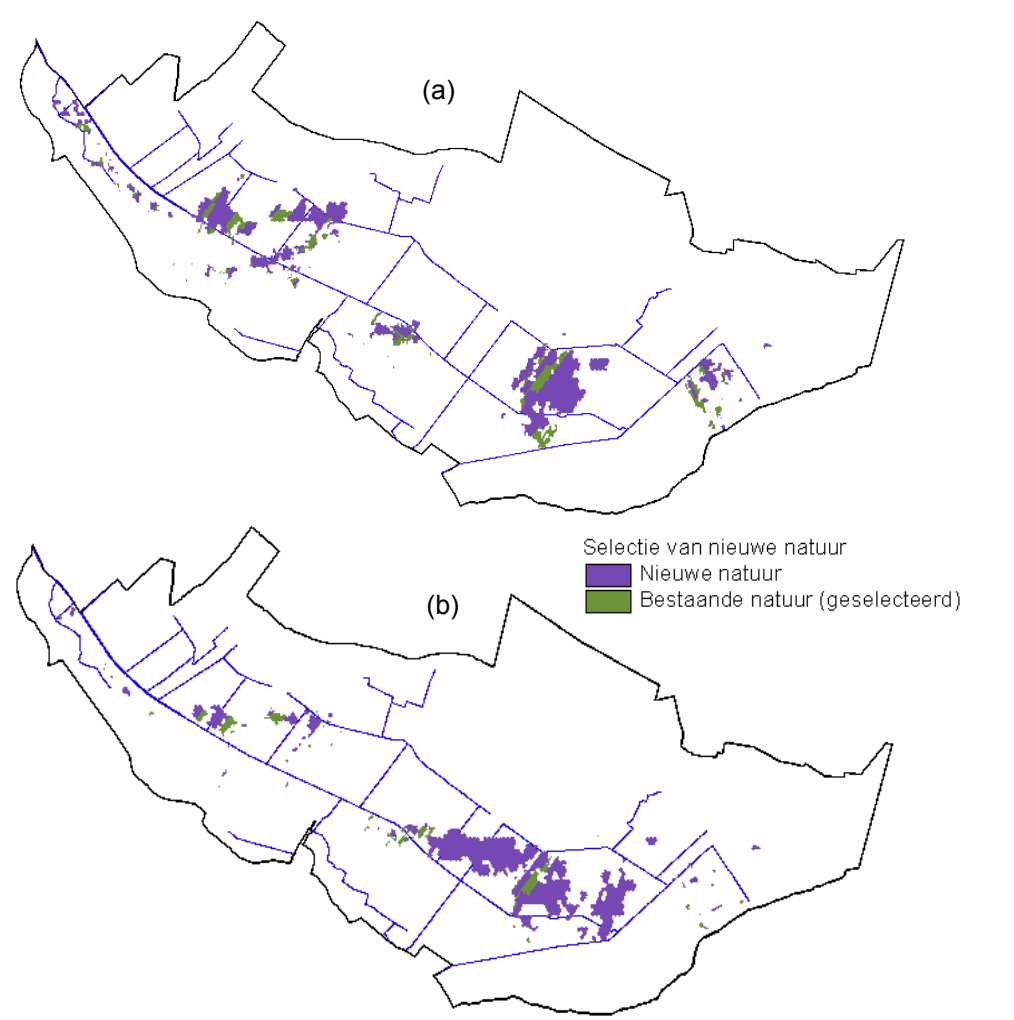


Figuur 25 Gebied dat binnen het zoekgebied van het 'Plan van Aanpak' voldoet aan de norm van 20% doelrealisatie van schraalgrasland volgens de UNAT-definitie, in de situatie horende bij het VGOR-max-natuur en in de situatie horende bij het VGOR (waarbij het gebied dat niet als nieuwe natuur wordt gekozen een inrichting en beheer als extensief landbouwkundig grasland krijgt).

Tabel 6 Overzicht van arealen nieuwe natuur (ha) die voldoen aan een bepaalde norm voor de doelrealisatie van schraalgrasland volgens de UNAT-definitie.

Doelrealisatie UNAT-schraalgrasland	Zoekgebied 'Plan van Aanpak'	Zoekgebied 'Geconcentreerd'
> 20%	435	634
> 40%	-	499
> 43%	250	-
> 55%	162	332
> 65%	-	257

In Aanhangsel 4 zijn de opeenvolgende stappen uitgebeeld voor beide zoekgebieden. In Figuur 26 zijn de eindbeelden opgenomen, met daarin ook aangegeven de bestaande natuur die geselecteerd is. In Tabel 6 is een overzicht gegeven van de geselecteerde arealen nieuwe natuur die aan een bepaalde norm voldoen.



Figuur 26 Geselecteerde gebieden voor aankoop van 250 ha nieuwe natuur: (a) volgens zoekgebied 'Plan van Aanpak'; (b) volgens zoekgebied 'Geconcentreerd. Tevens is aangegeven met de groene kleur welke gebiedsdelen met bestaande natuur ook voldoen aan het criterium voor de doelrealisatie

4 Verkenning inrichting en waterbeheer natuur

4.1 Inleiding

In de procedure voor de selectie van de beste locaties voor nieuwe natuur is de inrichting op een gestileerde manier behandeld. Nadat de selectie van nieuwe natuur achter de rug is komt de vraag aan de orde hoe de potentiele locaties voor nieuwe natuur het best kan worden ingericht. Daaraan is toegevoegd de vraag hoe de inrichting van de bestaande natuur kan worden verbeterd.

De eerste stap voor het doen van een inrichtingsvoorstel is het maken van een natuurdoeltypekaart die ook de nieuwe natuur omvat. Op aangeven van de Provincie Utrecht is voor de plekken met nieuwe natuur het natuurdoeltype schraalgrasland ingevuld, volgens de UNAT-definitie (code ri-3.04). Verder is gebleken dat een deel van de bestaande natuur geen UNAT-natuurdoeltype heeft; om de kaart compleet te maken is aan die gebiedsdelen de UNAT van een droog bostype gegeven. De aldus verkregen kaart omvat overigens niet de bossen op de heuvelrug, omdat de aangeleverde kaart (Prov. Utrecht) van 'bestaande kernnatuur' die gebieden niet omvatte.

In de gevolgde procedure zijn de volgende stappen gevolgd:
- formuleren van mogelijke maatregelen;
- uitvoeren van gevoeligheidsanalyses waarbij steeds het hele vlak van bestaande en nieuwe natuur wordt ingericht met een van de mogelijke maatregelen;
- bouwen van een 'schotten-vast' optimaliseringsmodel;
- genereren van een afwegingscurve tussen de gemiddelde natuurdoelrealisatie en de bijdrage aan de piekafvoer;
- maken van een keuze en verifiëren van het resultaat.

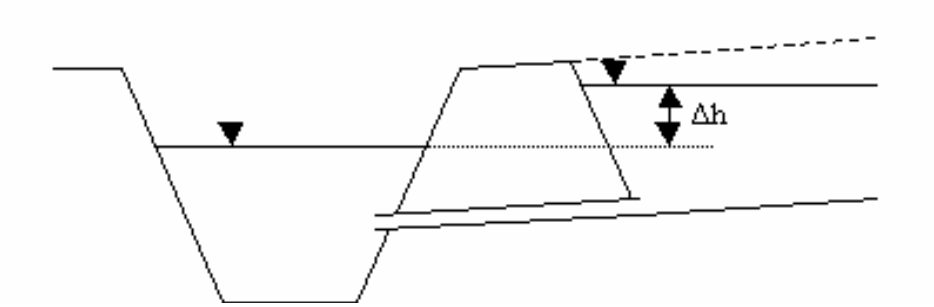
In de navolgende paragrafen wordt op deze stappen ingegaan.

4.2 Mogelijke inrichtingsmaatregelen

De selectie van nieuwe natuur was gericht op geschikte locaties voor nat schraalgrasland. Het ligt dus voor de hand om daar – zonder enig rekenwerk – standaard een aantal maatregelen door te voeren die gericht zijn op vernatting:
- tertiaire sloten verondiepen met 0.40 m, waarbij echter wel een minimumdiepte van 0.60 m wordt aangehouden; de bovenbreedte wordt daarbij niet aangepast;
- drains en maaivelddrainage worden geblokkeerd op 0.10 m-mv

Op de plekken waar nieuwe natuur komt wordt natuurlijk ook het grondgebruik omgezet naar grasland, en wordt de eventueel aanwezige beregening stopgezet.

De vraag is of verdere maatregelen gewenst zijn. De omstandigheden kunnen ook *te* nat worden, ook voor nat schraalgrasland. En ook voor de drogere natuurdoeltypen



Figuur 27 Stuwende duikerconstructie tussen detailontwateringssysteem en afwatering

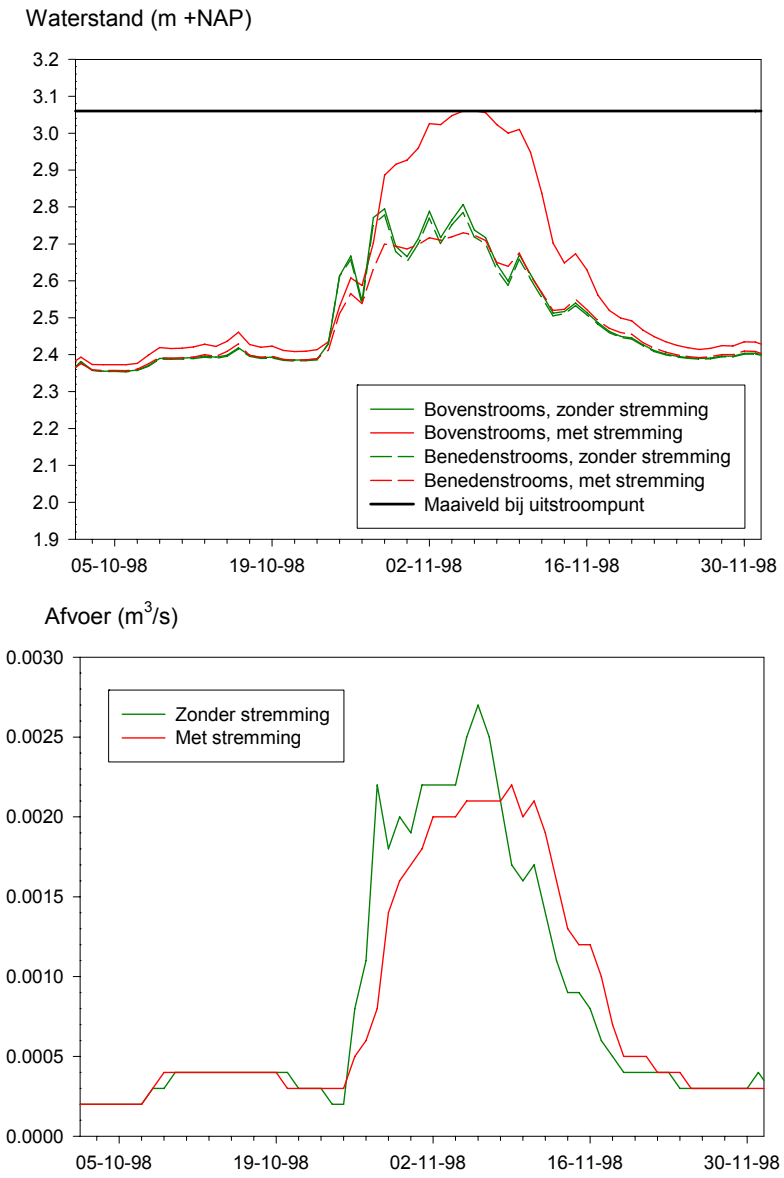
is het natuurlijk niet evident welke inrichting het beste resultaat geeft. Verder moet er ook rekening mee worden gehouden dat ook de bijdrage aan de piekafvoeren in toom gehouden moeten worden. Dat geldt vooral in gebieden waar vernatting wordt nagestreefd wordt, want vernatting heeft tot gevolg dat er minder bergingscapaciteit in de bodem aanwezig is voor het opvangen van piekneerslagen. Als er dus geen speciale maatregelen worden genomen, dan lopen de piekafvoeren gauw uit de hand.

Wat betreft de beperking van de piekafvoeren is de 'stuwende duiker' een veelbelovende optie (Van Bakel e.a. 2003, Tilma e.a., 2004). In die optie wordt per planningseenheid een technisch waterloopvak gecreëerd dat via een duiker contact heeft met de afwateringsleiding, zoals uitgebeeld in Figuur 27. De mate waarin de duiker zorgt voor stremming van de afvoer vanuit de 'haarvaten' wordt mede bepaald door de benedenstroomse situatie: Indien het benedenstroomse peil boven de duikerdrempel uitkomt dan wordt namelijk de afvoer bepaald door het peil*verschil*. Deze ingebouwde gevoeligheid zorgt voor stremming van de afvoer op het goede moment, namelijk wanneer de benedenstroomse peilen hoog gaan worden. Een verder bijkomend voordeel van duikers is dat in de afvoerformule het peilverschil onder het wortelteken staat: de afvoer is evenredig met $\sqrt{\Delta h}$. Dat heeft tot gevolg dat er bij een stijgend peilverschil *steeds meer extra verschil* nodig is per eenheidstoename van de afvoer. De duiker gaat dus juist in extreme situaties extra stremmend werken. De constructie is dus 'zelfdenkend', en vereist geen beheersinspanningen. Dat komt goed uit, want bij hoogwater is de waterbeheerder meestal volbezet met het voorkomen van calamiteiten, en heeft dan toch geen tijd voor arbeidsintensief stuwbeheer in de bovenlopen. Cruciaal voor de effectieve werking van de duikers is de dimensionering:

- bij te ruime dimensionering is er te weinig stremmende werking;
- bij te krappe dimensionering wordt 'te vroeg' gestremd, waardoor ten tijde van de echte piek het grond- en oppervlaktewatersysteem systeem reeds vol zit en er dus geen enkel afvoervertragend effect meer van de duikers uitgaat.

Het ideaal is een gedifferentieerd gedimensioneerd systeem dat er voor zorgt dat iedere soort piek (met een bepaalde herhalingstijd) een bepaald percentage van de haarvaten beschikbaar is voor het reduceren van de bijdrage aan de piekafvoer. In deze studie is echter nog niet zo ver gegaan: er is steeds gekeken naar de totale piekafvoer ten tijde van de piek op 5/6 november 1998.

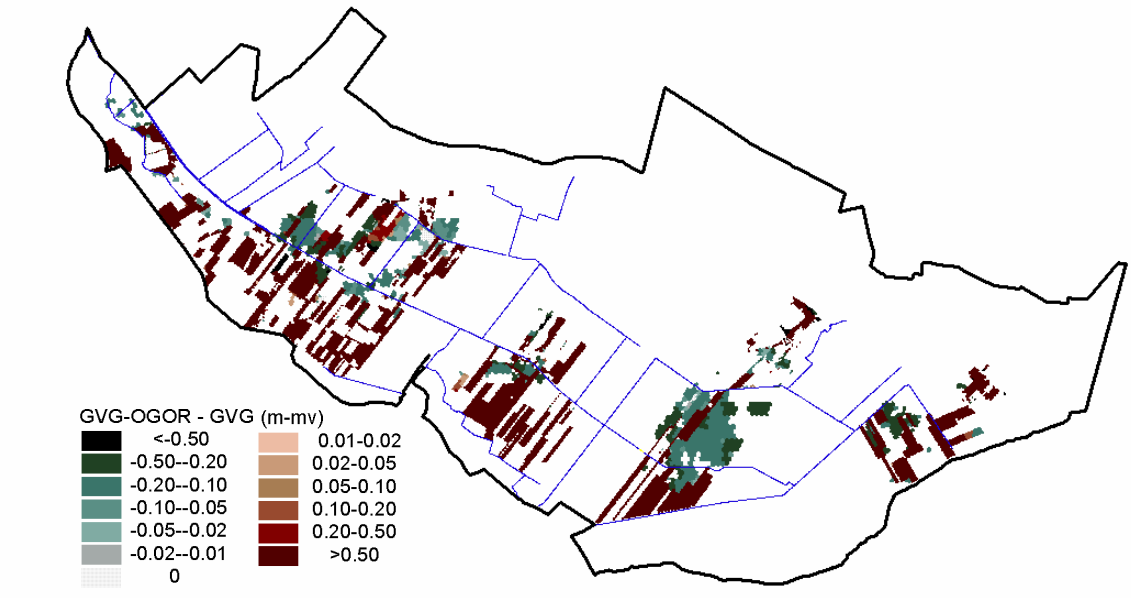
In het SIMGRO-model is er de mogelijkheid om de Q-Δh-relatie van de duikers door te laten lopen tot boven maaieveld. In dat geval moet er echter wel een 'bypass' zijn waar het water over de maaiveldsdam naar de afwateringsleiding kan stromen. Dat is de werkwijze die gevolgd is in Tilma e.a. (2004). Die werkwijze heeft echter als nadeel dat de rekentijd sterk toeneemt. Daarom is in deze studie gekozen voor een rekenwijze waarbij het water dat boven het maaiveld bij de afwateringsleiding uit stijgt (zie ook de dwarsdoorsnede in Figuur 27) wrijvingsloos kan afstromen. Eventueel kan extra water worden vastgehouden door middel van een maaiveldsdam. Maar dat is in deze studie niet toegepast. Een voorbeeld van een effectberekening 'met en zonder' stremming is gegeven in Figuur 28. In de variant met stremming



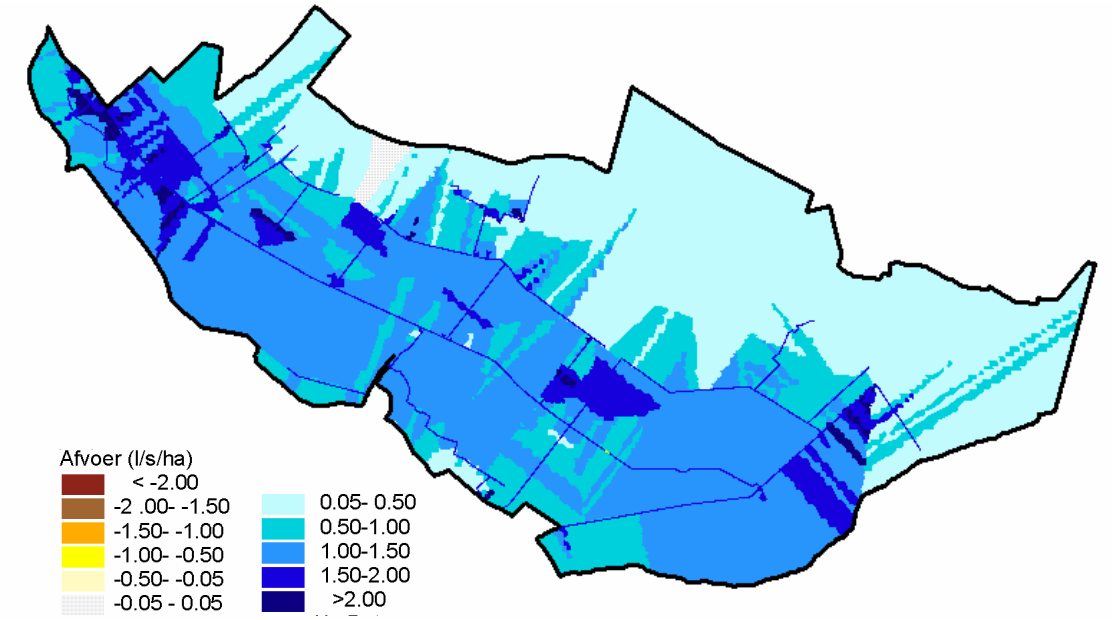
Figuur 28 Voorbeeld van een effectberekening voor de situatie 'met en zonder' stremming in de haarvaten (haarvat 12096, dimensionering duiker op 1.5 X maatgevende afvoer).

wordt een belangrijk deel van de piekneerslag 'op zijn plek gehouden' door de snel stijgende waterstand in de sloot bovenstrooms van de duiker, wat mede een gevolg is het door de duiker veroorzaakte peilverschil van circa 0.4 m met de benedenstroomse afvoerleiding. In de situatie zonder stremming bedraagt dat peilverschil slechts enkele centimeters. Het peil in de benedenstroomse leiding zelf vertoont een gematigd verloop in verband met de piekreductie in bovenstrooms gelegen gebieden (het voorbeeld is ontleend aan een gebiedsdekkende implementatie van een stremmingsvariant waarbij de haarvaten worden gedimensioneerd op 1.5X de maatgevende afvoer).

Bij de maatregelen is variatie gebracht in het niveau van de afvoerdrempel in de haarvaten, wat overeenkomt met het niveau onderkant duiker in de dwarsdoorsnede van Figuur 27. Om de gewenste verhoging van de drempel te schatten is eerst een simulatierun gemaakt waarin alleen de standaardmaatregelen zijn toegepast. Vervolgens is de berekende GVG vergeleken met de optimale waarde. Voor de optimale GVG is in dit geval genomen de zogenaamde GVG_b2-waarde van de doelrealisatiefunctie. Dat is de diepste GVG waarbij nog een doelrealisatie 100% kan worden bereikt. Het verschil met de berekende GVG is uitgebeeld in Figuur 29. In de maatregelopties met verhoogde afvoerdrempel is de drempel opgehoogd met 1.5 maal het verschil tussen de berekende GVG en gewenste OGOR-waarde. Het is namelijk bekend dat een verondieping van de ontwateringsbasis slechts gedeeltelijk doorwerkt in een verhoging van de voorjaarsgrondwaterstand. Daarop wordt dus geanticipeerd.



Figuur 29 Verschil tussen de GVG in de OGOR en de GVG in de run met alleen standaardmaatregelen (geen stremming in de haarvaten); een negatieve waarde komt overeen met een te diepe GVG t.o.v. de OGOR



Figuur 30 Berekende maatgevende afvoer voor het AGOR

Bij de formulering van de maatregelen is verder gebruik gemaakt van de berekende maatgevende afvoer per eenheid van oppervlak, zoals uitgebeeld in Figuur 30. De maatgevende afvoer wordt gebruikt bij de dimensionering van de stuwende duikerconstructies van de 'haarvaten'. In Tabel 7 is de lijst met mogelijke maatregelpakketten opgenomen. Met deze maatregelpakketten zijn vervolgens een serie runs gemaakt waarbij steeds een van de pakketten uniform in alle bestaande en nieuwe natuur is toegepast. De resultaten wat betreft de natuurdoelrealisaties en bijdragen aan de piekafvoer van 5/6 november 1998 zijn uitgebeeld in Aanhangsel 5 en 6.

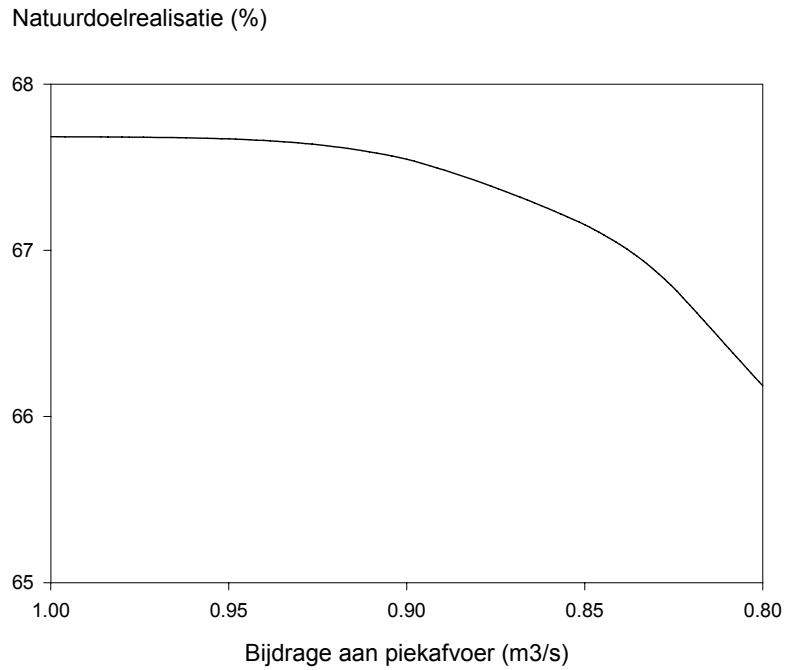
Tabel 7 Lijst met maatregelpakketten die als opties dienen voor de inrichting van nieuwe en bestaande natuur.

nr	Omzetting landgebruik	Aanpassing ontw. diepte	Halvering slootdichtheid	qh-factor haarvaten	Verhoogde afvoerdrempel
001	x			0.5	
002	x			1.5	
003	x			3.0	
004	x	x		0.5	
005	x	x		1.5	
006	x	x		3.0	
007	x	x		0.5	x
008	x	x		1.5	x
009	x	x		3.0	x
010	x	x	x	0.5	
011	x	x	x	1.5	
012	x	x	x	3.0	
013	x	x	x	0.5	x
014	x	x	x	1.5	x
015	x	x	x	3.0	x

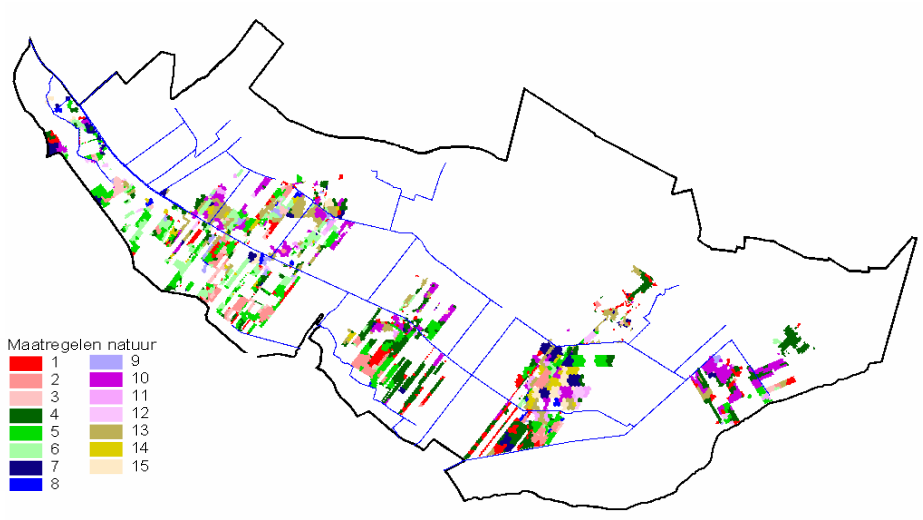
4.3 Inrichting op basis van 'schotten-vast'

Met gebruikmaking van de uitkomsten van de maatregel-gevoeligheidsanalyses is een eenvoudig optimaliseringsmodel opgezet op basis van het principe 'schotten-vast'. Dat laatste betekent dat er geen rekening wordt gehouden met de onderlinge wisselwerking tussen verschillende deelgebieden binnen bestaande/nieuwe natuur. Om te komen tot een samengestelde doelfunctie voor de natuurdoelrealisatie is een weging toegepast op de UNAT's zoals weergegeven in Aanhangsel 7. Met behulp van het optimaliseringsmodel is het vervolgens mogelijk om die samengestelde doelfunctie te maximaliseren voor verschillende randvoorwaarden ten aanzien van de bijdrage aan de piekafvoer op 5/6 november 1998.

Met het optimaliseringsmodel is vervolgens een serie rekenexperimenten gedaan waarbij de randvoorwaarde ten aanzien van de bijdrage aan de piekafvoer is gevarieerd. Dit heeft geresulteerd in een afwegingscurve die is uitgebeeld in Figuur 31. Het blijkt dat de curve begint bij 1.0 m3/s, terwijl in het AGOR de totale bijdrage 1.12 m3/s bedraagt. Voor de gekozen inrichtingsvariant is een bijdrage van 0.90 m3/s aangehouden, omdat tot dat niveau er nog nauwelijks verlies is aan doelrealisatie voor de natuur, en er wel reeds een significante reductie van de bijdrage aan de piekafvoer (-20%) wordt verwacht. In Figuur 32 is een overzicht van gekozen maatregelopties gegeven. Te zien is o.a. dat de opties 6,7, en 8 nauwelijks worden gekozen. Kennelijk is het aantrekkelijker om een verhoogde afvoerdrempel te combineren met een halvering van de slootdichtheid (opties 9-15). De opties met huidige slootdichtheid met of zonder 'standaardmaatregelen' worden voornamelijk gebruikt voor de reeds bestaande natuur.



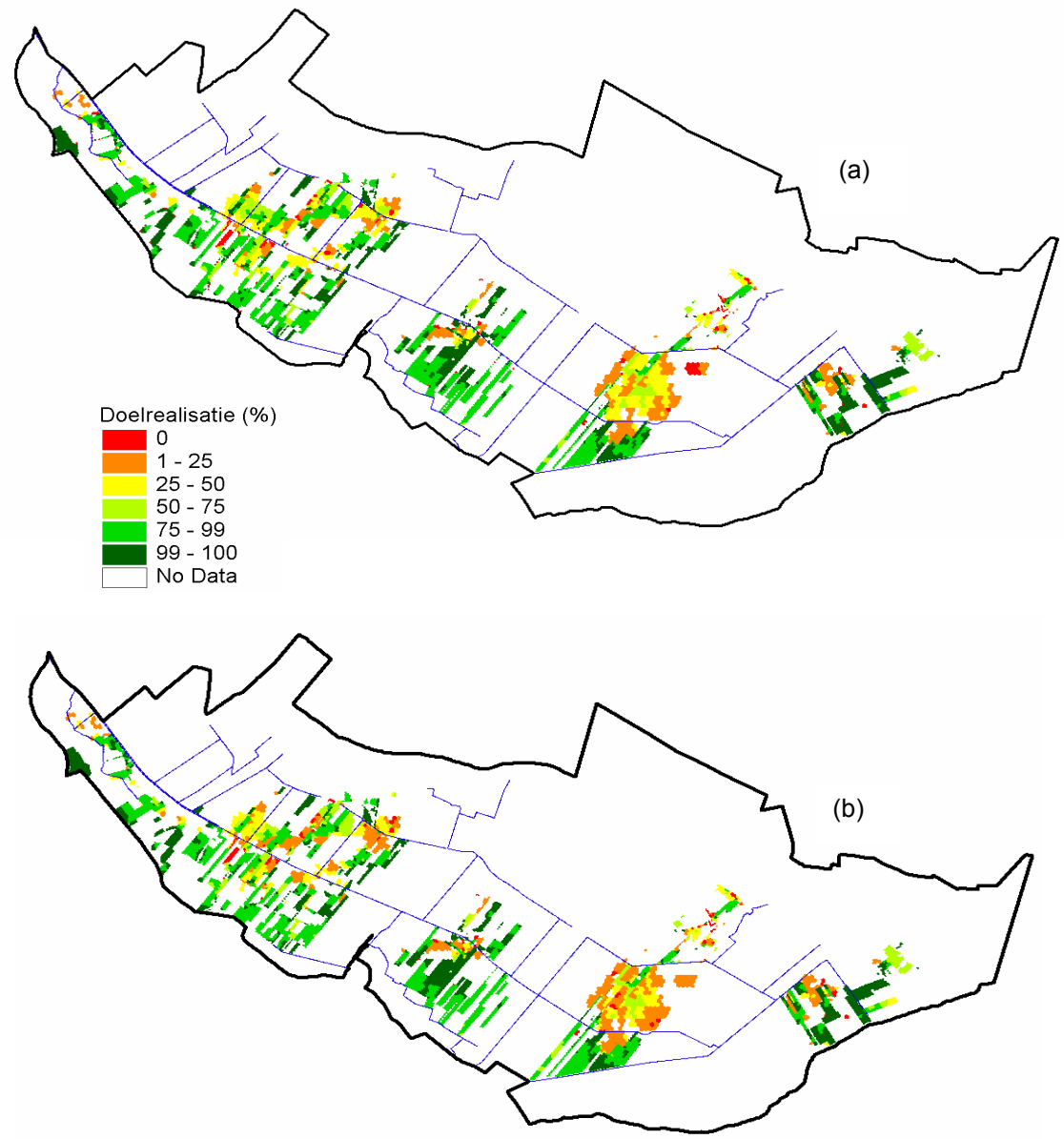
Figuur 31 Afwegingscurve voor de natuurdoelrealisatie tegen de bijdrage aan de piekafvoer door de natuurgebieden (860 ha).



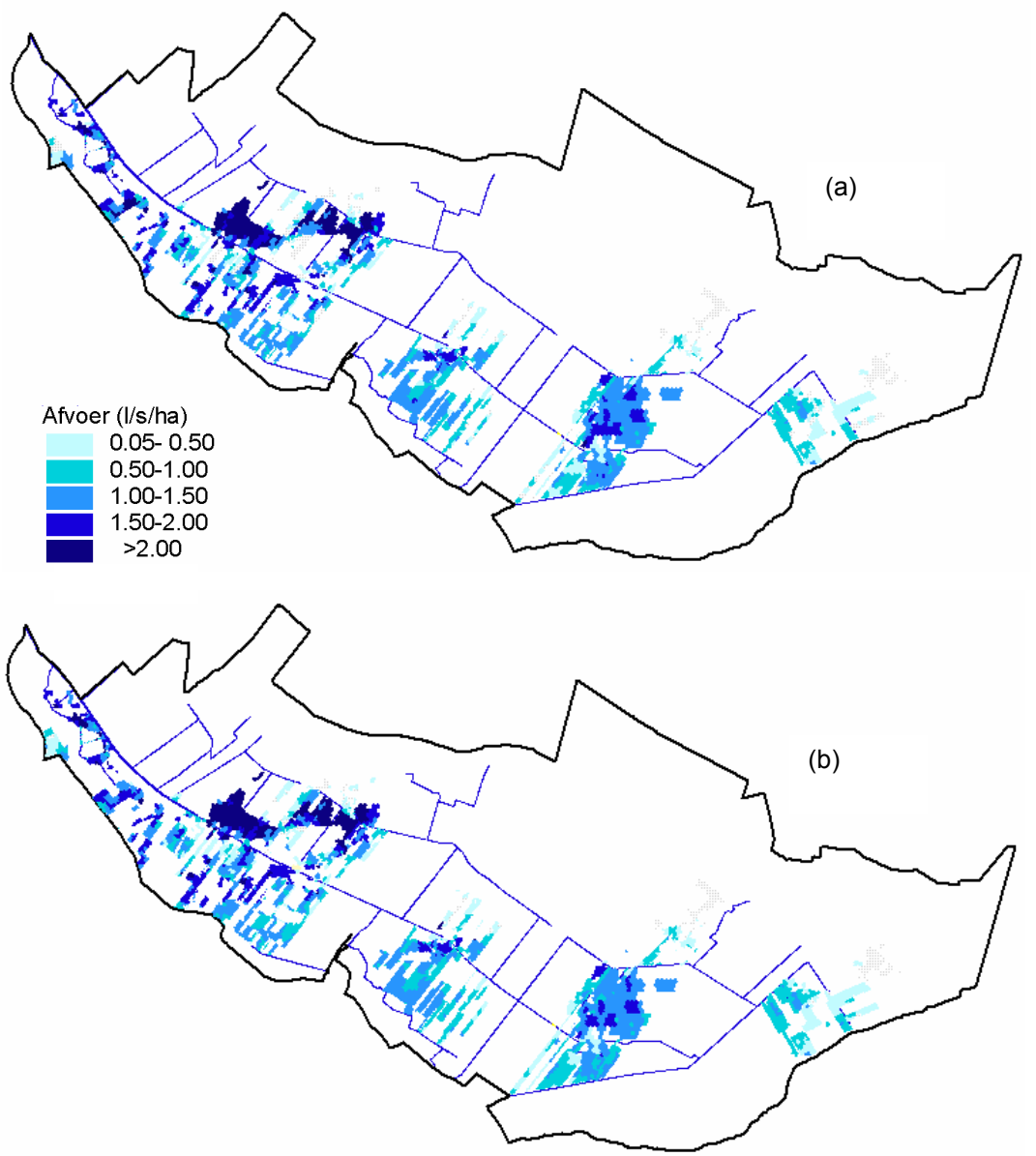
Figuur 32 Gekozen maatregelopties voor de inrichting van nieuwe/bestaande natuur

Het ruimtelijke beeld van de natuurdoelrealisatie is weergegeven in Figuur 33a. Dit zijn overigens de uitkomsten zoals die zijn samengesteld aan de hand van de uitkomsten van maatregel-gevoeligheidsanalyses, die vervolgens door Waterwijs zijn geselecteerd. Deze keuzes zijn vervolgens ook weer gebruikt om als invoer voor SIMGRO te dienen, waarmee een en ander dus wordt 'nagerekend'. Die uitkomsten zijn opgenomen in Figuur 33b.

Uit de vergelijking tussen de resultaten volgens de optimalisering en volgens de verificatie valt op dat de doelrealisaties voor natuur flink lager kunnen zijn in de verificatie. Analyse van de resultaten leert dat dit vooral komt doordat de kwel in de verificatie beneden de kritische grens blijft, waardoor de doelrealisatie meteen naar 0 gaat. Dat is dus een zeer scherp criterium in Waternood. De optimalisering is gebaseerd op gegevens waarbij steeds het hele (natuur)gebied een bepaalde optie is gegeven. In de uiteindelijke variant kunnen er naast natte inrichtingskeuzes ook drogere inrichtingskeuzes komen te liggen. Hier doet zich voelen dat de eenheden met de drogere natuurdoeltypen de naastliggende natuur 'schade' kunnen berokkenen. Die schade kan straks voor een deel weer worden goedgemaakt als het waterbeheer in het landbouwgebied wordt aangepast.



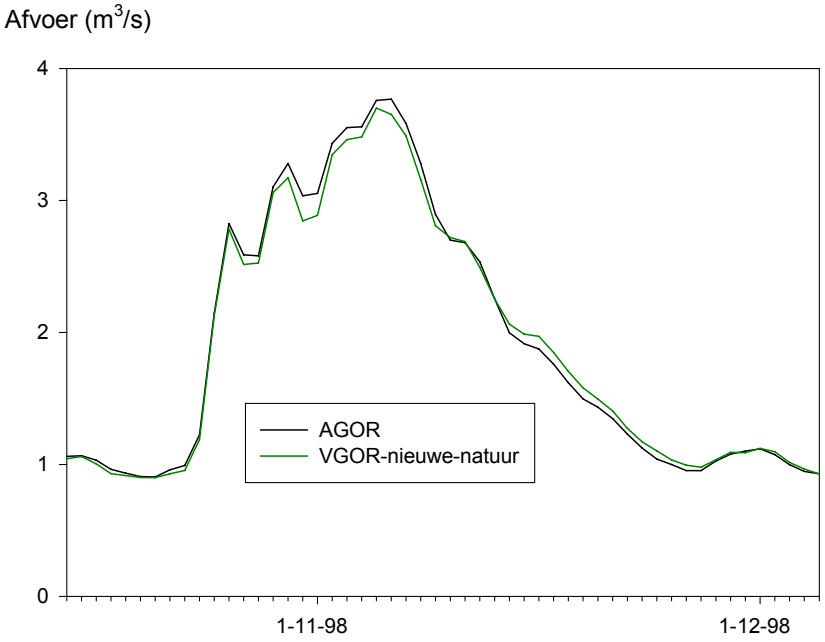
Figuur 33 Natuurdoelrealisatie in de variant met 'optimale' inrichting van natuurgebieden: (a) volgens de optimalisering aan de hand van aparte gevoeligheidsanalyses, (b) volgens de verificatie waarin alle maatregelen tegelijk zijn geïmplementeerd



Figuur 34 Bijdrage aan de piekafvoer in de variant met 'optimale' inrichting van natuurgebieden: (a) volgens de optimalisering aan de hand van aparte gevoeligheidsanalyses, (b) volgens de verificatie waarin alle maatregelen tegelijk zijn geïmplementeerd

Wat betreft de bijdrage aan de piekafvoer vertoont het met SIMGRO geverifieerde ruimtelijke patroon van de bijdrage aan de piekafvoer op zich een goede gelijkenis met de uitkomsten van het optimaliseringsmodel, die gebaseerd zijn op de aparte gevoeligheidsanalyses (Figuur 34). Hier speelt minder de onderlinge wisselwerking tussen de eenheden. In Figuur 9 is het piekverloop getoond voor de AGOR en de inrichtingsvariant; het betreft circa ¾ van de gebiedsafvoer. Voor de dagen 5/6 november laat de gestremde variant een reductie van 0.15 m3/s zien op de totale bijdrage van 1.12 m3/s van de 860 ha aan de afvoerpiek. Dat is een kleinere reductie dan voorspeld door het optimaliseringsmodel. Voor een deel is dat het gevolg dat de gevoeligheidsanalyses voor maatregelruns 1,2 en 3 omdat die maatregelen pas na

voltooiing van de gevoeligheidsanalyses zijn toegevoegd. De effecten zijn geconstrueerd aan de hand van de overige opties. De voorspelde piekafvoerverlopen zijn gegeven in Figuur 35.



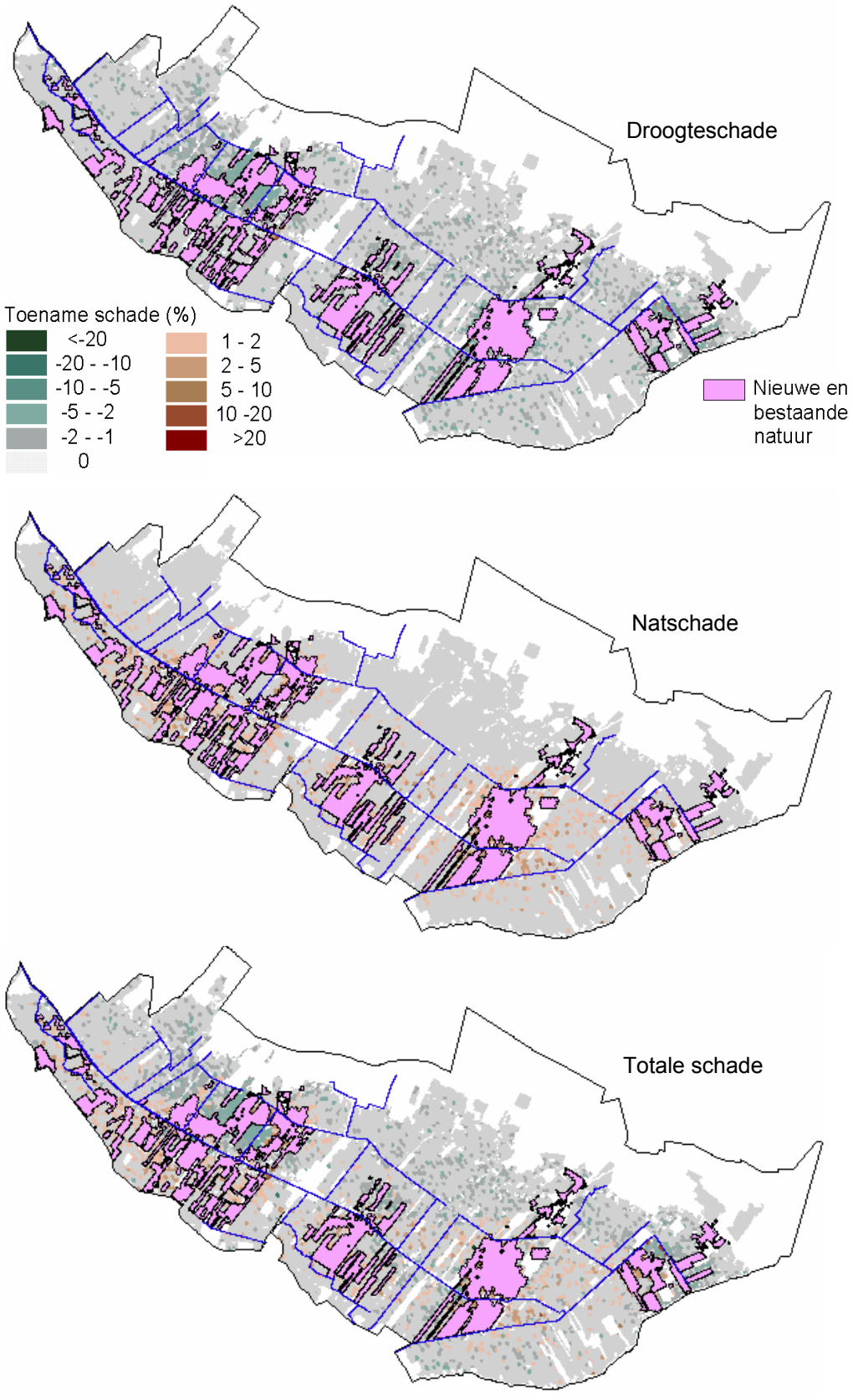
Figuur 35 Vergelijking van het piekafvoerverloop (meetpunt 025 in de Langbroekerwetering, met circa ¾ van de gebiedsafvoer) in de AGOR en het VGOR-nieuwe-natuur

4.4 Effecten van inrichting natuur op landbouwsaldo's

Met behulp van SIMGRO-Waternood is berekend wat het effect is van de inrichting van nieuwe natuur op het landbouwsaldo. De berekening voor/na is gebaseerd op het areaal dat overblijft na het uit productie nemen van de circa 250 hectare die omgezet wordt naar nieuwe natuur. Een overzicht van schadebedragen is weergegeven in Tabel 8. Daaruit blijkt dat als gevolg van de vernatting van natuurgebieden de berekende natschade licht toeneemt met 9.7 k€/jaar. Daarentegen neemt de droogteschade af met 3.0 k€/jaar, zodat netto een schadetoename van 6.7 k€/jaar resulteert. In Figuur 36 zijn de ruimtelijke beelden van de schadeveranderingen weergegeven. Het vlekkerige patroon is een gevolg van het feit dat in Waternood de evaluatie plaatsvindt in termen GHG- en GLG-klassen van 5 cm.

Tabel 8 Gesommeerde effecten op droogte- en natschade, voor de verschillende varianten.

Variant	S_{nat} (k€/jaar)	ΔS_{nat} (k€/jaar)	S_{drg} (k€/jaar)	ΔS_{drg} (k€/jaar)	S_{tot} (k€/jaar)	ΔS_{tot} (k€/jaar)	S_{nat} (€/ha/jaar)	ΔS_{nat} (€/ha/jaar)	S_{drg} (€/ha/jaar)	ΔS_{drg} (€/ha/jaar)	S_{tot} (€/ha/jaar)	ΔS_{tot} (€/ha/jaar)
0	152.5		334.8		487.3		42.9		94.2		137.1	
0n	162.2	9.7	328.1	-6.7	490.3	3.0	45.6	2.7	92.3	-1.9	138.0	0.8



Figuur 36 Verandering van de landbouwschade als gevolg van vernatting van bestaande/nieuwe natuur

5 Verkenning inrichting en waterbeheer landbouw

5.1 Inleiding

Voor het doen van voorstellen met betrekking tot inrichting en waterbeheer van het landbouwgebied is een Waterwijs-model opgezet volgens het principe 'schotten-los', zoals ook beschreven in Van Walsum e.a. (2002). Toen is echter nog geen gebruik gemaakt van het Waternood-instrumentarium. In de huidige studie is de combinatie met Waternood gemaakt zoals aangegeven in het schema van Figuur 3. In dat schema wordt SIMGRO 'ingepakt' en feitelijk binnenstebuiten gekeerd, zodat het mogelijk wordt om het linkerdeel van het schema in omgekeerde richting te bewandelen: uitgaande van de doelstellingen zoekt Waterwijs de ruimtelijke configuratie van maatregelen die daaraan voldoet tegen zo laag mogelijke kosten. Daarbij wordt gebruik gemaakt van wiskundige optimaliseringtechnieken in combinatie met vereenvoudigde modellen. De vereenvoudiging is noodzakelijk omdat anders het algoritme niet kan worden toegepast. Het gaat daarbij vooral om een efficiënt zoekproces. Als een ruimtelijke configuratie is gevonden dient vervolgens na te worden gegaan wat het echt waard is met het simulatie-instrumentarium SIMGRO-Waternood, volgens het schema van Figuur 2.

Voor de opbouw van het Waterwijs-model zijn de volgende stappen gezet:
- verfijnen van de planningseenheden rondom de bestaande en nieuwe natuur, met het oog op de vorming van bufferzones; daartoe zijn de planningseenheden 'voorbereid' op zones met een naar buiten toe verlopende breedte (60 m, 60 m, 120 m);
- formuleren van mogelijke maatregelen in het landbouwgebied;
- uitvoeren van maatregel-gevoeligheidsanalyses waarbij steeds het hele vlak van het resterende landbouwgebied ingericht wordt met een van de mogelijke maatregelpakketten;
- bouwen van een 'schotten-los' optimaliseringsmodel en verificatie daarvan;
- uitvoeren van series berekeningen voor de natuurdeelgebieden, en het aan de hand daarvan berekenen van 'marginale kosten van natuurdoelrealisaties' ;
- genereren van diverse varianten voor de inrichting van het landbouwgebied door het opleggen van randvoorwaarden aan Waterwijs en het vervolgens evalueren met SIMGRO-Waternood.

In de navolgende paragrafen wordt op deze stappen ingegaan. In het volgende hoofdstuk wordt beschreven hoe de resultaten van de verkenning zijn gebruikt in het interactieve proces op weg naar de GGOR, het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime.

5.2 Mogelijke inrichtingsmaatregelen

Bij de mogelijke inrichtingsmaatregelen voor het landbouwgebied is een van de uitgangspunten geweest dat overal in meer of minder mate water wordt vastgehouden in de 'haarvaten' met behulp van duikerconstructies (of het equivalent daarvan), zoals ook bij de inrichting van natuur (zie ook par. 4.2). Een ander belangrijk uitgangspunt is dat het landgebruik (voorlopig) zelf niet verandert. In het landbouwgebied worden verder de volgende deelmaatregelen overwogen:

- verhoging van de afvoerdrempel, met als doel de doelrealisatie van natte natuur te verhogen;
- verdubbeling van de slootdichtheid, om daarmee de effecten van vernatting voor de landbouw te verzachten; in combinatie met de voorgaande maatregel geeft dit een pakket 'ondiep en intensief' ontwateren; dat is duurder dan de gebruikelijke diepe ontwatering, maar bereikt voor de landbouw hetzelfde effect, en spaart tegelijkertijd de naastliggende natte natuur;
- flexibel peilbeheer met een meer of minder 'gevoelig' peilbeheerschema; dit is een alternatieve manier om de natschade beperkt te houden en tegelijkertijd de naastliggende natte natuur te steunen;
- beregening uit oppervlaktewater (uitbreiding van beregening uit grondwater wordt in ieder geval als niet wenselijk geacht); de beregening kan zowel de landbouw als de (terrestrische en grondwaterafhankelijke) natuur ten goede komen. Dat laatste gebeurt dan indirect via verminderde uitzakking van grondwaterstanden aan het einde van de zomerperiode, wat de naastliggende natuur ten goed komt. Maar aanvoer van eutroof water kan negatieve effecten hebben op de aquatische natuur en eventueel via de grondwaterstroming ook op de naastliggende terrestrische natuur.

Voor dat wordt ingegaan op de combinaties van deelmaatregelen wordt eerst nog wat meer ingegaan op de deelmaatregelen zelf.

Verhogen van de afvoerdrempel houdt in het verondiepen van sloten met 0,40 m, waarbij een minimale diepte van 0,60 m wordt aangehouden. De bovenbreedte van de sloten wordt bij het verondiepen niet aangepast.

Bij het flexibel peilbeheer wordt het streefpeil aangepast aan de grondwaterstand: als het grondwater dicht onder het maaiveld staat wordt het streefpeil verlaagd, als de grondwaterstand ver onder maaiveld staat wordt het streefpeil verhoogd. Als *monitoring* punt voor de grondwaterstand wordt gebruikt het 5%-maaiveldspunt binnen de planningseenheid. Dat is dus het punt ten opzichte waarvan 5% van de planningseenheid een lager maaiveld heeft. In het gebruikte peilbeheerschema wordt het streefpeil verlaagd met 5 cm (of 10 cm in de 'gevoelige' variant), per 5 cm stijging van het grondwater in het monitoring punt. Voor zand is als gewenste grondwaterstand 60 cm -mv genomen, voor klei 80 cm -mv. 'Gewenst' houdt in dat bij grondwaterstanden ondieper dan 60 cm -mv (of 80 cm -mv) het streefpeil wordt verlaagd. Bij grondwaterstanden dieper dan 60 cm -mv (of 80 cm -mv) wordt het verhoogd, tot een maximaal niveau van 30 cm -mv.

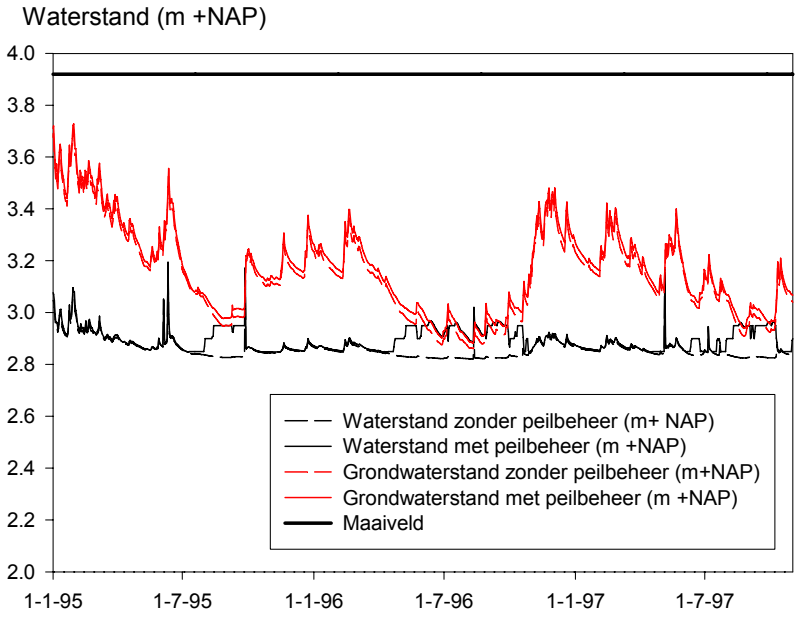
In Tabel 9 worden de als zinvol geachte combinaties van deelmaaatregelen opgesomd, waarbij tevens wordt aangegeven (kolom L,N,W) voor welk deelbelang de combinatie als gunstig wordt gezien. Bij het opstellen van de lijst is er bovendien voor gezorgd dat ieder maatregelpakket een 'buurman' heeft die alleen in één enkele deelmaatregel anders is.

Tabel 9 Mogelijke combinaties van deelmaatregelen voor inrichting en waterbeheer in het landbouwgebied. In de kolommen 'L, N, W' wordt aangegeven (inkleuring) of een maatregel gunstig is voor een bepaald deelbelang, respectievelijk dat van landbouw, natuur, en water (piekafvoerreductie)

nr	Maatregel						L	N	W
	Verdubbeling slootdichtheid	Flexibel peilbeheer 5cm/5cm	Flexibel peilbeheer 10cm/5cm	Haarvaten (dimensionering op X-keer maatgevendeafvoer)	Verhoging afvoerdrempel	Beregening			
001				3.0					
002	x	x		3.0					
003		x		3.0					
004	x		x	3.0					
005			x	3.0					
006	x		x	3.0		x			
007			x	3.0		x			
008	x			2.0					
009				2.0					
010	x			1.0					
011	x			2.0	x				
012				2.0	x				
013	x			1.0	x				
014				1.0	x				

De in Tabel 9 opgesomde maatregelpakketten zijn in eerste instantie geïmplementeerd in gebiedsdekkende vorm. Deze zogenaamde maatregel-gevoeligheidsanalyse wordt gebruikt voor het opbouwen van het Waterwijs-optimaliseringsmodel dat wordt beschreven in de volgende paragraaf.

In Figuur 37 is een voorbeeld gegeven van grondwatergestuurd peilbeheer en het gesimuleerde effect daarvan op de grondwaterstand. Het gaat hier om een locatie met kleigrond, en met een streefpeil van 3,00 m+NAP. Voor iedere 5 cm dat de grondwaterstand boven het streefpeil uitkomt wordt het ingestelde stuwpeil met 5 cm verlaagd. Aangezien er geen wateraanvoer van buiten af is, kan het oppervlaktewaterpeil nooit hoger worden dan de grondwaterstand, althans in een situatie met uitzakkende grondwaterstanden. Te zien is in het voorbeeld dat eind juni 1996 het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand elkaar 'ontmoeten', om vervolgens gezamenlijk uit te zakken. In de maand juli die daarop volgt is er een kortdurend piekje waarin de oppervlaktewaterstand wel even boven de grondwaterstand uitstijgt. Dat is het gevolg van een door oppervlakteafvoer gevoede afvoergolf. De waterstand wordt kennelijk opgestuwd door de Q-h relatie die ontleend is aan de rekenexperimenten met SOBEK (Hermans e.a., 2004) Het effect van peilbeheer op de berekende GXG is overigens zeer bescheiden: zowel de GHG als GLG worden circa 3 cm ondieper.

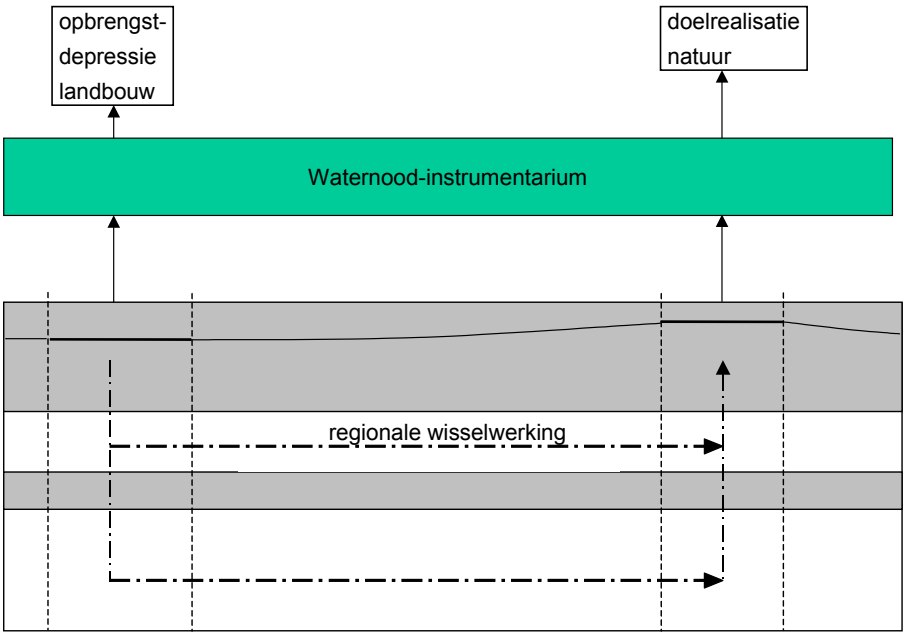


Figuur 37 Voorbeeld van grondwatergestuurd peilbeheer en het gesimuleerde effect op het grondwaterstandverloop

5.3 Optimaliseringsmodel

5.3.1 Inleiding

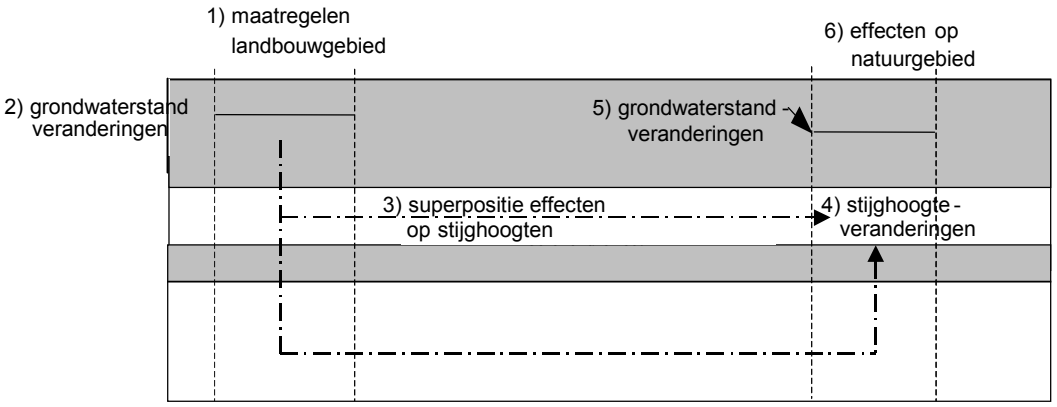
Bij de verkenning van inrichting en waterbeheer van het landbouwgebied is het wezenlijk dat de wisselwerking tussen landbouw en natuur wordt meegenomen. Het gebruikte 'schotten-los'-optimaliseringsmodel voor de inrichting van het landbouwgebied heeft daarom als rekenkern een (vereenvoudigde) module voor de regionale grondwaterstroming. Aan de 'voorkant' van het model is er een koppeling met de opbrengsten van de landbouw, en aan de 'achterkant' een koppeling met de natuurdoelrealisaties. Een globaal schema van de modelopbouw is gegeven in Figuur 38. De aangegeven koppeling met Waternooduitkomsten krijgt in het optimaliseringsmodel gestalte in de vorm van uitgebreide tabellen, waardoor het mogelijk wordt om via een 'opzoekactie' direct de landbouw/natuurdoelrealisaties bij de hand te hebben. Uiteraard zijn deze tabellen voor ieder deelgebied en maatregelpakket anders, en moeten ze voor iedere modeltoepassing apart afgeleid worden, beginnend met de gebiedsdekkende maatregel-gevoeligheidsanalyses. Dat bij de gevoeligheidsanalyses met *gebiedsdekkende* maatregelen wordt gewerkt geeft wel meteen de beperking aan van het vereenvoudigde optimaliseringsmodel: wisselwerkingen binnen het landbouwgebied zelf komen in het optimaliseringsmodel niet aan bod. De 'buurman-effecten' van de landbouw worden echter uiteindelijk *wel* gekwantificeerd, namelijk op het moment dat een ruimtelijke configuratie van maatregelpakketten achteraf nog eens wordt geëvalueerd met SIMGRO-Waternood. In het navolgende wordt eerst ingegaan op het 'metamodel' voor de regionale wisselwerking via de ondergrond. Daarna komt de gebruikersinterface aan bod.



Figuur 38 Schema van het 'schotten-los' optimaliseringsmodel: de pijlen geven de beïnvloeding via het grondwater aan

5.3.2 Metamodel van de regionale grondwatereffecten

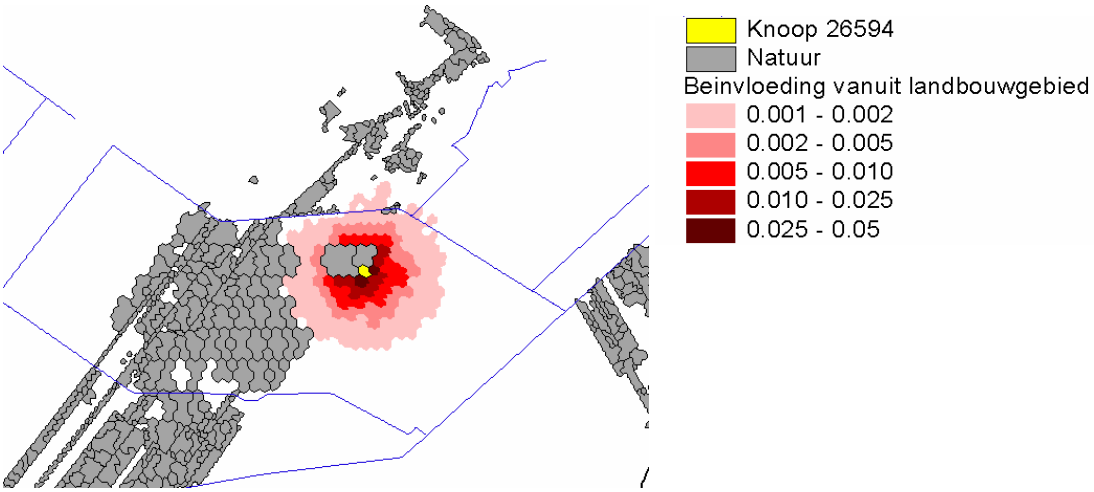
Een 'metamodel' is een vereenvoudigde weergave van een complexe werkelijkheid. Het schema in Figuur 39 is wat betreft de regionale wisselwerking een verdere uitwerking van het in Figuur 38 gegeven globale schema van het optimaliserings-model. Een eerste stap in de constructie van dat model is het toepassen van een analytische oplossing voor de grondwater-wisselwerking tussen alle 'landbouw-knopen' en 'natuurknopen' (Groenendijk in Van Walsum e.a., 2002). Het gebruik van deze oplossing vermijdt het hoeven doen van duizenden runs met een 'wandelende maatregel' in SIMGRO. In Figuur 40 is als voorbeeld de beïnvloeding van een knoop weergegeven. Uitgebeeld is het effect van een eenheidsverhoging van de grond-waterstand in het landbouwgebied op de stijghoogte in de watervoerende laag *onder* het natuurgebied. De stijghoogte onder het natuurgebied is namelijk een cruciale tussenvariabele in de constructie van het metamodel.



Figuur 39 Schema voor het metamodel van de regionale wisselwerking via de ondergrond

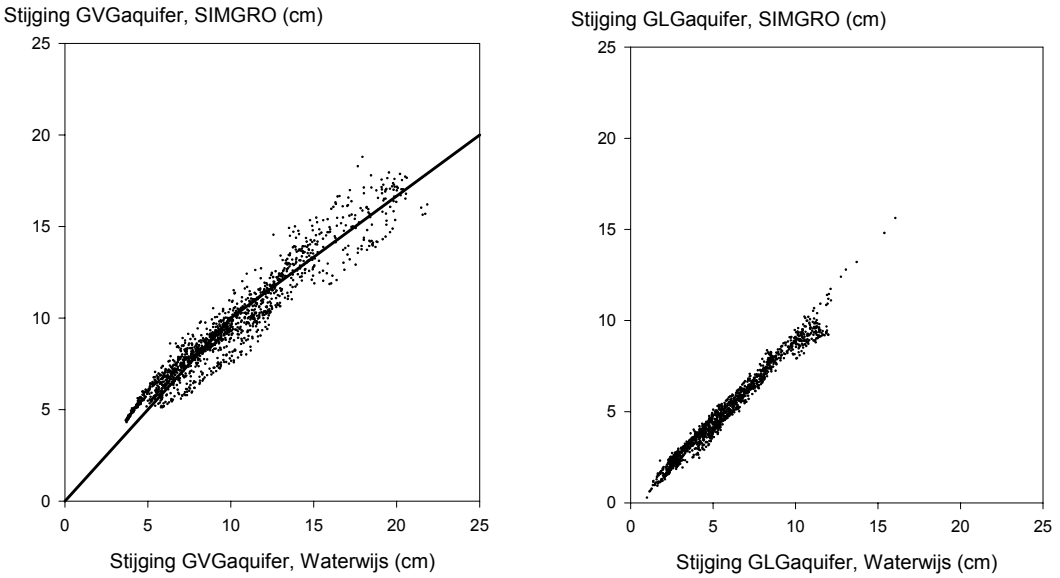
De analytische oplossing is 'stationair', d.w.z. varieert niet met de tijd. Ook zijn de randvoorwaarden beperkt realistisch; dat betreft met name de 'vaste' stijghoogte in het freatisch pakket van het natuurgebied. De berekende wisselwerking dient daarom gekalibreerd te worden. Daartoe zijn de berekende invloeden verzameld in de zogenaamde beïnvloedingsmatrix. Vervolgens zijn de effecten van maatregelen in het landbouwgebied vermenigvuldigd met die matrix. De berekende effecten zijn vergeleken met de door SIMGRO berekende effecten van maatregelen op de stijghoogte onder de natuurgebieden. Dat is gedaan voor zowel de GVG als de GLG. Daarmee is tevens de matrix omgevormd vanuit een 'stationaire' berekening naar een berekening van effecten die voor de natuurevaluatie relevant zijn. Het blijkt dat de met SIMGRO berekende effecten tot 3 keer zo groot kunnen zijn als de met de stationaire oplossing gevonden waarden. Dat komt doordat de werkelijkheid minder 'gestabiliseerd' is dan volgens de stationaire formule.

Vervolgens is een vergelijking gemaakt tussen de door het metamodel voorspelde GVG van de watervoerende laag en de door SIMGRO voorspelde GVG. Die verificatie is uitgezet in Figuur 41. Deze vergelijking illustreert dat op een gegeven moment de GVG in de watervoerende laag het 'maaiveld' gaat voelen, als gevolg van het extra gaan werken van ondiepe ontwateringsmiddelen zoals greppels, en natuurlijk het maaiveld zelf. Dat resulteert in het afvlakken van het voorspelde effect. Voor de GLG doet zich dit niet voor. Om voor de GVG ook een goede voorspelling te krijgen is er een geknikt verband aangelegd, zoals aangegeven in de linkerfiguur. In Figuur 42 wordt getoond dat een hernieuwde verificatie na deze tweede fase calibratie veel betere resultaten toont. De berekende effecten door SIMGRO zijn nu meestal groter of gelijk aan die van het metamodel. Dat betekent in de praktijk dat wanneer Waterwijs een bepaalde randvoorwaarde voor de natuur wordt gegeven, het uiteindelijke resultaat in de meeste gevallen 'meer dan' de gevraagde randvoorwaarde oplevert. Overigens is dit 'over'-effect voor een deel ook te verklaren doordat bepaalde natuurdeelgebieden 'uit de wind' worden gehouden door randvoorwaarden die gekoppeld zijn aan deelgebieden die sterker worden beïnvloed vanuit het landbouwgebied. Dus niet alle randvoorwaarden zijn echt 'actief'. Uiteindelijk gaat het trouwens om de effecten op de natuurdoelrealisatie. Die zullen naderhand bij de rekenresultaten worden getoond.

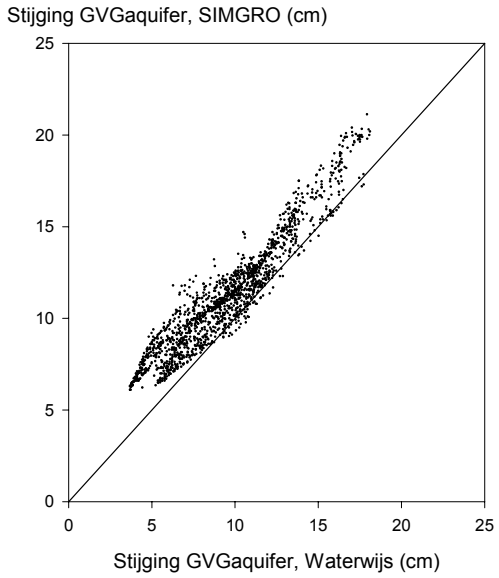


Figuur 40 Voorbeeld van beïnvloeding van een natuurknoop vanuit het landbouwgebied. Uitgebeeld is de mate (uitgedrukt als dimensieloze fractie) waarin een verandering van de freatische grondwaterstand doorwerkt in de stijghoogte van de watervoerende laag onder het natuurgebied, in dit geval van knoop 26594.

Hoewel er in het bovenstaande geen melding van wordt gemaakt speelt de ecologisch relevante kwel wel degelijk een rol in het metamodel, maar dan op een implicieter niveau. Voor ieder natuurgebiedje is er namelijk een uniek verband tussen de stijghoogten in de watervoerende laag en de kwel. Dat verband zit verwerkt in de tabellarische koppeling tussen hydrologie (grondwaterstanden) en doelrealisaties, aan de 'achterkant' van het model (zie ook de inleiding in par. 5.3.1).



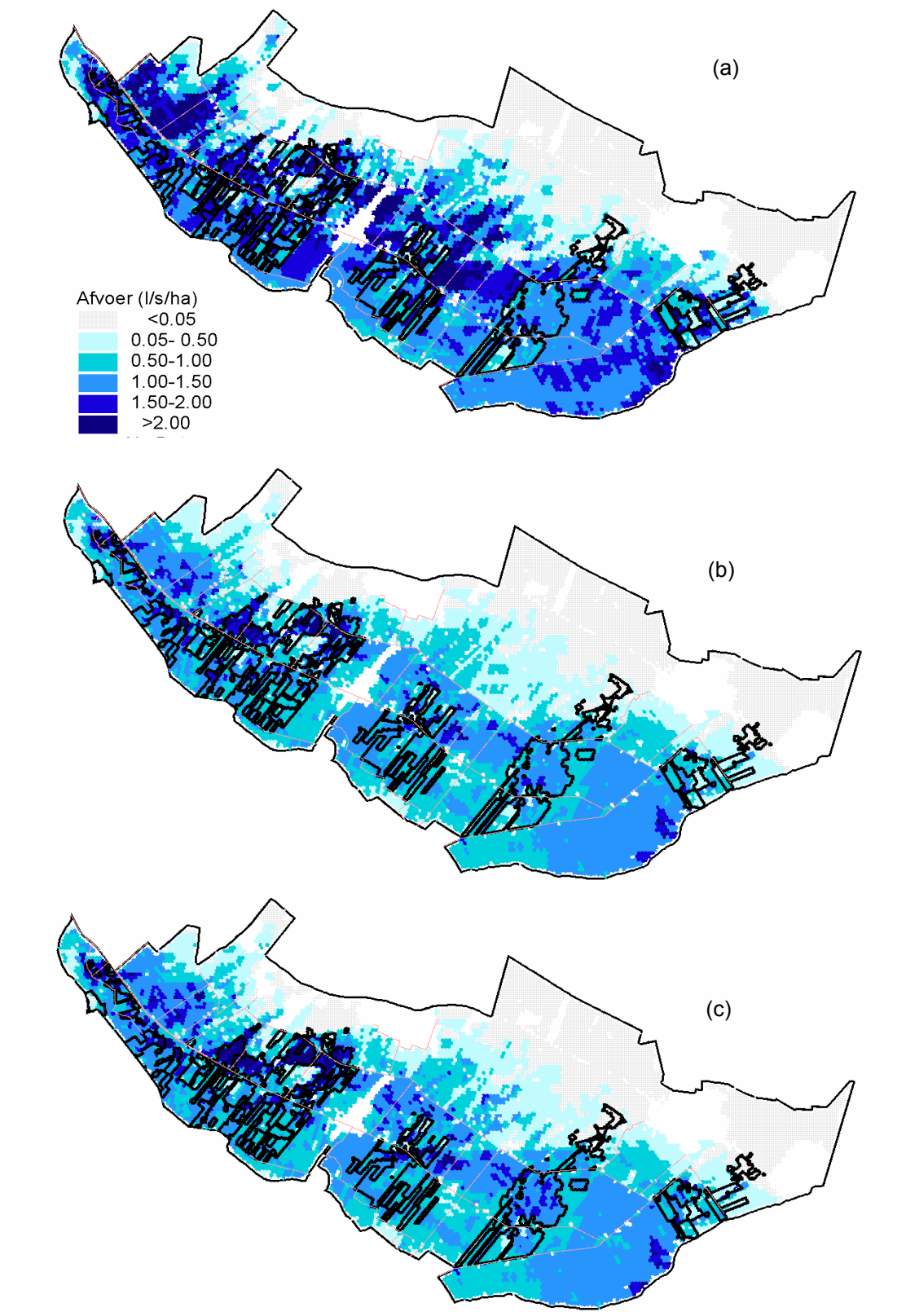
Figuur 41 Verificatie 1e fase van calibratie metamodel voor regionale beïnvloeding, aan de hand van de voorspelde uitkomsten voor de GVG en GLG van de stijghoogte in de eerste watervoerende laag.



Figuur 42 Verificatie 2e fase calibratie van metamodel voor regionale beïnvloeding

5.3.3 Metamodel van piekafvoer

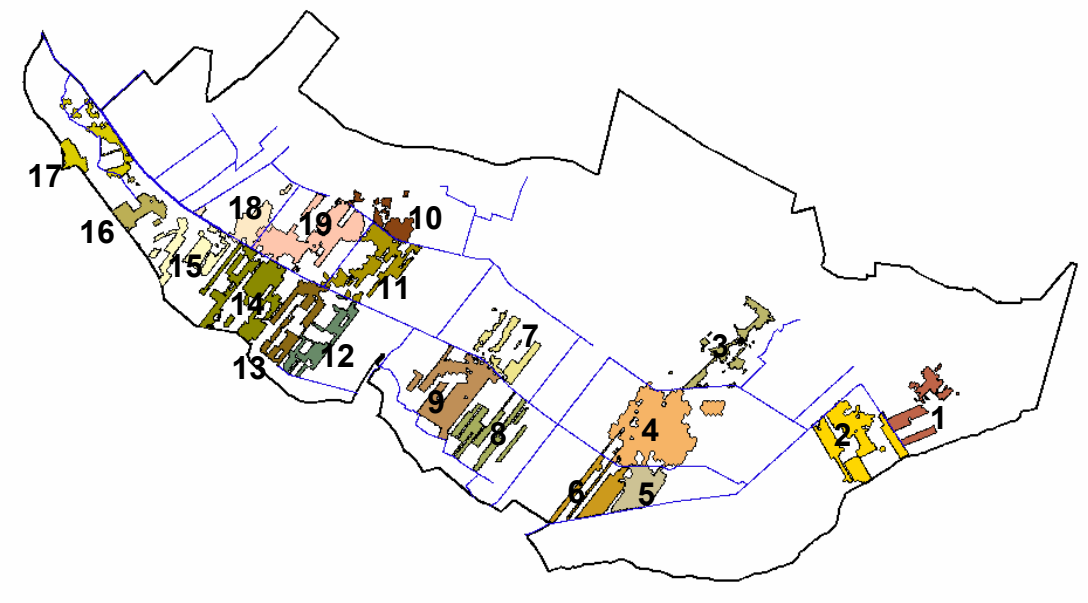
Wat betreft het effect van maatregelen op de bijdrage aan de piekafvoer wordt in het optimaliseringsmodel simpelweg een optelling gemaakt van de berekende effecten aan de hand van de gevoeligheidsanalyse. In Figuur 43 wordt een vergelijking gemaakt tussen de door het optimaliseringsmodel voorspelde bijdrage aan de piekafvoer (b) en de vervolgens door SIMGRO berekende bijdrage aan de piekafvoer (c). Daarin is te zien dat SIMGRO hogere effecten voorspelt: dat komt doordat lokale reducties van de piekafvoer 'weglekken' via het regionale systeem: piekreductie leidt tot verhoging van de waterstanden, dus tot extra kwel elders, en dus ook tot meer piekafvoer. Die wisselwerking zit niet in het optimaliseringsmodel.



Figuur 43 Vergelijking van de afvoerbijdrage op 5/6 november 1998 (a) in de uitgangssituatie (= na inrichting nieuwe natuur), (b) de voorspelde bijdrage volgens Waterwijs, en (c) de gesimuleerde bijdrage volgens SIMGRO.

5.3.4 Gebruikersinterface

Om het voor de gebruiker van het optimaliseringsmodel hanteerbaar te houden zijn de natuurgebieden gegroepeerd in een 19-tal zones (zie Figuur 44), die zijn vastgesteld in overleg met de opdrachtgever. De zones zijn vervolgens weer onderverdeeld in subzones met kwelafhankelijke natuur en niet-kwelafhankelijke natuur.



Figuur 44 Natuurzones, voor het specificeren van randvoorwaarden ten aanzien van doelrealisatie natuur

De aansturing van het Waterwijs-model geschiedt via een spreadsheet. In Tabel 10 is daarvan het deel uitgebeeld dat betrekking heeft op de keuze van randvoorwaarden voor de natuurzones. In de spreadsheet zijn per 'natte' natuurzone een 11-tal opties aangegeven voor de te kiezen randvoorwaarde m.b.t. de natuurdoelrealisatie. Deze opties staan in het rechterdeel van de tabel, met de bijbehorende waarden. De tabel is verkregen aan de hand van de runs met de maatregel-gevoeligheidsanalyses.

Tabel 10 Natuurdoelrealisatiewaarden horend bij natuurdoelrealisatie-opties van een individuele natuurzone

zone	opp. (ha)	UNAT Code	Natuurdoelrealisatiewaarde (%) bij een natuurdoelrealisatie-optie										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2_nat	18.4	ri-3.04	11.5	14.1	16.9	19.7	22.3	25.1	27.9	28.2	28.6	29.0	29.3
3_droog	20.9	hz-3.13 v	40.2	43.2	46.4	49.6	52.6	55.8	59.0	59.6	60.2	60.8	61.4
4_nat	97.1	ri-3.04	19.4	23.7	28.2	32.8	37.0	41.6	46.1	47.3	48.6	49.8	51.0
5_nat	11.1	ri-3.04	9.2	10.7	12.2	13.8	15.3	16.9	18.4	18.9	19.3	19.7	20.1
9_nat	13.4	ri-3.04	11.7	14.8	18.0	21.2	24.2	27.4	30.6	31.8	33.0	34.2	35.4
10_nat	12.4	ri-3.04	14.7	18.9	23.3	27.7	31.9	36.3	40.8	41.1	41.4	41.8	42.1
11_nat	25.9	ri-3.04	15.7	18.2	20.9	23.5	26.0	28.7	31.3	31.7	32.1	32.4	32.8
13_nat	9.0	ri-3.04	25.7	28.4	31.4	34.3	37.1	40.0	43.0	43.5	44.0	44.6	45.1
15_nat	1.8	ri-3.04	29.8	32.2	34.7	37.2	39.6	42.2	44.7	44.7	44.8	44.8	44.8
16_nat	3.3	ri-3.04	31.1	33.1	35.3	37.4	39.4	41.5	43.6	44.1	44.5	45.0	45.5
17_nat	8.4	ri-3.04	19.4	20.7	22.1	23.5	24.8	26.2	27.6	28.2	28.8	29.4	30.0
18_nat	19.6	ri-3.04	21.3	26.3	31.6	36.9	41.8	47.1	52.4	52.8	53.3	53.7	54.2
19_nat	33.5	ri-3.04	48.2	50.1	52.2	54.3	56.2	58.3	60.4	60.4	60.5	60.5	60.6

Voor de 'droge' natuurzones worden geen randvoorwaarden gegeven, omdat er vanuit wordt gegaan dat door lokaal ingrijpen (variatie van de ontwateringsbasis) de lokale omstandigheden goed zijn te beïnvloeden. Dat geldt lang niet altijd voor de natte zones, met name omdat daar behalve de waterstanden ook de *kwel* een belangrijke rol speelt: de kwel – en natuurlijk ook de ecologisch relevante de kwel – is sterk afhankelijk van de regionale invloeden.

Om het model te kunnen runnen moeten ook keuzes worden gemaakt betreffende:
- de maximaal toegestane bijdrage aan de piekafvoer;
- het areaal dat maximaal beregend mag worden

5.4 Berekening marginale kosten van natuurdoelrealisaties

Om inzicht te krijgen in de kosten en baten van vernatting zijn voor een aantal natuurzones een serie rekenexperimenten gedaan. Het gaat daarbij om de zones die een duidelijk positieve response te zien geven. Bij iedere run is bij een van de betreffende zones een 'natuurdoelrealisatie-optie' opgegeven, en is de rest op de *standstill* gehouden, dus minimaal de referentiesituatie. Dat is gedaan voor de opties 2-11 van Tabel 10.

Vervolgens zijn per run de zogenaamde marginale kosten uitgerekend (Tabel 11):

$$mk(z,i) = \frac{S_{tot}(z,i) - S_{tot}(z,i-1)}{[NDR(z,i) - NDR(z,i-1)] \cdot O(z)}$$

waarin:

$mk(z,i)$	= marginale kosten van natuurdoelrealisatie-optie i van zone z (€/jaar /ha/%)
$S_{tot}(z,i)$	= totale landbouwschade bij opleggen van optie i in zone z (€/jaar)
$NDR(z,i)$	= natuurdoelrealisatie in zone z bij optie i (%)
$O(z)$	= oppervlakte van natuurzone z (ha)

Bijvoorbeeld de marginale kosten van optie 11 in zone '9_nat' (ten opzichte van de optie10) bedragen

(534.31 – 532.30)*1000/((35.40-34.21)*13.44) = 125.7 (€/jaar/ha/%).

Met behulp van de marginale kosten kan een objectieve vergelijking worden gemaakt tussen de economische efficiëntie van vernattingsdoelen/maatregelen van de verschillende natuurzones. Het blijkt dat aan de linkerkant van de tabel het bereiken van een zeker drempelniveau 'gratis' verwezenlijkt kan worden door met de landbouwopties iets te schuiven. Maar op een gegeven moment gaat de natuurrand-voorwaarde 'bijten', en lopen de kosten sterk op.

Als er geen andere beleidsmatige overwegingen zijn dan pure kosten/baten, dan zal men er naar willen streven het saldoverlies van de landbouw overal even efficiënt in te zetten voor het realiseren van natuurdoelen. Het geïntroduceerde begrip 'marginale kosten' kan daarbij helpen. Bij het stellen van een bepaalde grens X aan de marginale kosten wordt in feite opgelegd dat "de laatste procent natuurdoelrealisatie niet meer mag kosten dan X". In de Tabel 12 zijn de te kiezen opties opgesomd voor een aantal criterium-waarden.

Overigens moet men bij deze exercitie bedenken dat wanneer aan meerdere natuurzones tegelijkertijd randvoorwaarden zouden worden gesteld de totale kosten lager uitpakken dan de som van de kosten voor het 'apart' bereiken van de doelrealisaties. Vooral wanneer de zones bij elkaar in de buurt liggen gaat het optimaliseringsmodel kijken of bepaalde maatregelen gunstig kunnen uitpakken voor meerdere zones tegelijk: Waterwijs heeft zogezegd ogen 'voor en achter'. Hoe complexer de ruimtelijke configuratie van natuurgebieden, hoe meer profijt er zal zijn van het gebruik van een optimaliseringsmodel.

Tabel 11 Marginale kosten van een natuurdoelrealisatie optie bij opleggen van een natuurdoelrealisatie van een individuele natuurzone

zone	opp. (ha)	Marginale kosten van optie (€/jaar/ha/%)									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2_nat	18.4	0.0	1.0	4.6	9.5	16.2	34.5	86.7	117.3	143.9	205.6
3_droog	20.9	0.0	0.1	2.1	4.6	7.7	14.5	28.4	34.8	43.1	57.2
4_nat	97.1	0.0	0.2	1.1	1.9	2.7	5.2	9.6	12.0	17.0	29.0
5_nat	11.1	0.0	0.0	0.8	7.5	13.1	41.6	120.6	172.7	240.5	552.4
9_nat	13.4	0.0	0.2	1.9	6.4	10.7	23.7	26.3	40.0	61.0	125.8
10_nat	12.4	0.0	0.2	1.1	2.1	3.3	5.8	14.4	17.0	20.5	28.6
11_nat	25.9	0.0	0.5	2.0	4.8	6.5	9.5	17.2	25.4	35.4	59.1
13_nat	9.0	0.0	0.8	3.2	5.9	8.1	10.2	60.1	86.0	191.6	13636.9
15_nat	1.8	0.0	0.0	16.8	43.1	66.8	156.4	3103.4	4602.7	7961.0	18545.7
16_nat	3.3	0.0	0.4	23.4	56.7	83.6	177.6	259.6	410.2	759.3	1510.5
17_nat	8.4	0.0	3.4	21.9	41.4	58.1	98.2	103.5	145.6	223.2	544.6
18_nat	19.6	0.0	0.1	0.4	1.2	2.1	3.9	6.0	7.4	9.5	13.3
19_nat	33.5	0.0	0.1	0.6	2.4	3.8	7.0	40.0	52.9	73.3	118.6

Tabel 12 Randvoorwaarde-optiekeuzes bij een bepaald criterium voor de "Marginale kosten van natuurdoelrealisatie"

zone	opp. (ha)	UNAT Code	Keuze van natuurdoelrealisatie-optie bij bepaald criterium voor de marginale kosten van (€/jaar/ha/%)					
			mk<15	mk<30	mk<60	mk<90	mk<120	mk<250
2_nat	18.4	ri-3.04	6	7	7	8	9	11
3_droog	20.9	hz-3.13 v	7	8	11			
4_nat	97.1	ri-3.04	10	11				
5_nat	11.1	ri-3.04	6	7	7	7	8	10
9_nat	13.4	ri-3.04	6	8	10	10	11	
10_nat	12.4	ri-3.04	8	11				
11_nat	25.9	ri-3.04	8	9	11			
13_nat	9.0	ri-3.04	7	7	8	9	9	10
15_nat	1.8	ri-3.04	4	4	6	6	6	7
16_nat	3.3	ri-3.04	3	4	6	7	7	8
17_nat	8.4	ri-3.04	3	4	6	7	8	10
18_nat	19.6	ri-3.04	11					
19_nat	33.5	ri-3.04	7	7	9	10	11	

5.5 Verkenning van het speelveld met Waterwijs

5.5.1 Varianten

Als voortraject voor het interactieve proces op weg naar het GGOR zijn een aantal varianten aangemaakt met Waterwijs, en zijn deze in perspectief geplaatst tot het AGOR. Een opsomming van varianten en korte omschrijvingen worden gegeven in Tabel 13. De maatregelpatronen zijn opgenomen in Aanhangsel 8. In Tabel 14 zijn de oppervlakteaandelen van de verschillende maatregelpakketten in de varianten weergegeven. In Aanhangsel 9 zijn kaarten opgenomen waarin is aangegeven wat de overeenkomst is van een bepaalde variant met variant 1, het VGOR-max-landbouw. Deze kaarten zijn van belang voor het identificeren van 'win-win' situaties.

Bij het VGOR-max-landbouw (variant 1) is beregening met behulp van een extra randvoorwaarde in Waterwijs op 0 ha gehouden. Bij die variant 1 valt verder op dat het aandeel 'flexibel peilbeheer' (maatregelpakket 2-7) blijft steken op 16%; er was wel wat meer verwacht. In veel situaties kiest het model kennelijk voor een sterkere vernatting door middel van een maatregel waarbij de afvoerdrempel op 0,60 m -mv wordt gebracht (maatregelpakket 11-14), al dan niet in combinatie met halvering van de slootdichtheid. Dat laatste dient om de drainageweerstand te verlagen, om zodoende de natschade te beperken. Overigens dient hierbij te worden aangetekend dat er geen 'directe' kosten van maatregelen in rekening zijn gebracht, zoals extra slootonderhoud, verlies aan werkbaar oppervlak enz. Maar de belangrijkste reden dat het model kiest voor een forse vernatting (i.p.v. flexibel peilbeheer) is dat de droogteschade een even groot belang wordt toegedicht als de natschade: er wordt gerekend met een *netto* schade. In de huidige landbouwpraktijk is bij de inrichting vooral gekeken naar het vermijden van natschade.

Tabel 13 Variantenreeks voor verkenning van het speelveld

Variant	code	omschrijving
0	AGOR	Actueel Grond- en Oppervlaktewaterregime
0n	VGOR-nieuwe-natuur	Inrichting nieuwe natuur en aanpassing interne waterbeheer
1	VGOR-max-landbouw	Maximalisering saldo voor de landbouw
2	VGOR-max-natuur	Maximalisering doelrealisatie van natte natuur
3	VGOR-opt-natuur	Optimalisering landbouwgebied waarbij (natte) natuurzones een zo hoog mogelijke doelrealisatie krijgen; alleen die zones maximaliseren waar minimaal 43% kan worden bereikt
4	VGOR-opt-natuur-wb21	Als vorige met maximale piekafvoerreductie
5	VGOR-mkopt-natuur	Optimalisering van het landbouwgebied waarbij (natte) natuurzones een randvoorwaarde krijgen overeenkomend met 'marginale kosten' van maximaal 15 €/ha/%/jaar
6	VGOR-mkopt-natuur-wb21	Als vorige met maximale piekafvoerreductie

Tabel 14 Aandeel (%) van de verschillende maatregelpakketten in het landbouwgebied, per variant

Maatregel-pakket	Variant					
	1	2	3	4	5	6
1	29	20	25	21	25	22
2	2	0	1	1	1	0
3	4	0	3	0	2	0
4	6	0	3	1	4	1
5	4	0	4	1	4	1
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	3	0	2	1	2	1
9	5	0	3	1	3	2
10	4	0	2	17	3	17
11	17	0	18	4	20	5
12	8	0	10	4	9	4
13	7	0	7	25	7	26
14	11	80	23	23	22	21

Voor variant 2 is geen gebruik gemaakt van het optimaliseringsmodel, omdat de variant feitelijk al voorhanden was na het doen van de maatregel-gevoeligheids-analyses: Er is gebruik gemaakt van een gebiedsdekkende invulling met maatregel-pakket 14 uit de lijst van Tabel 9. Bij de presentatie van maatregelkaarten wordt deze maatregel echter alleen ingevuld op gronden met een GHG die ondieper is dan 1,40 m -mv. Bij diepere GHG's is het namelijk zinloos om sloten te gaan verondiepen, omdat er toch geen contact is met het grondwater. Aangezien 'niets doen' niet als maatregeloptie is opgenomen, wordt op die gronden maatregelpakket 1 ingevuld.

Voor de optimalisering t.b.v. natuur (varianten 3 en 4) is randvoorwaardenoptie 10 gebruikt van Tabel 12, maar alleen voor die zones waar een doelrealisatie van >40% kan worden bereikt. In varianten 3 en 4 worden de randvoorwaarden voor natte natuur ook bij optie 10 fors aangeschroefd. Dit wordt door het optimaliseringsmodel vooral opgevangen door tweemaal zo vaak gebruik te maken van maatregelpakket 14, te weten de 'zwaarste' vernattingsoptie. Uit het kaartbeeld van Aanhangsel 9 blijkt verder dat in ruim de helft van het gebied het gekozen maatregelpakket overeenkomt met dat van het VGOR-max-landbouw.

In variant 4 leiden de extra eisen aan de piekafvoer tot een zeer sterke toename van het aandeel van pakket 10, waarbij de stremming in de haarvaten maximaal is, in combinatie met halvering van de slootdichtheid. Pakket 11 wordt voor het meren-deel ingeruild voor pakket 13, met maximale stremming van de haarvaten.

Voor de varianten 5 en 6 met grens aan de marginale kosten van 15 €/ha/%/jaar zijn de randvoorwaardenopties gebruikt zoals gegeven in kolom 'mk<15' van Tabel 12 uit de notitie van 24 mei. Voor deze varianten doen zich analoge maatregelpatronen voor, met verschuivingen (t.o.v. 3 en 4) als gevolg van de afwijkende natuurrand-voorwaarden.

5.5.2 Effecten op natuurdoelrealisaties

In de hier gegeven berekening van de natuurdoelrealisaties in de zones is bij de AGOR aangenomen dat het landgebruik al is omgezet naar nieuwe natuur op plaatsen die voor deze hoofdvariant zijn geselecteerd. Anders zou de berekende doelrealisatie per definitie nul zijn. De aangemaakte varianten zijn vervolgens doorgerekend met SIMGRO-Waternood; de berekende realisaties zijn opgenomen in Tabel 15 De ruimtelijke patronen van de realisaties die zijn opgenomen in Aanhangsel 10. In Tabel 16 is voor een aantal natte natuurzones een vergelijking gemaakt tussen randvoorwaarden van doelrealisaties in Waterwijs en de berekende waarden van SIMGRO-Waternood.

Tabel 15 Natuurdoelrealisaties in de zones, voor de verschillende varianten, berekend met SIMGRO-Waternood. Voor de omschrijving van de varianten zie Tabel 1.

zone	opp. vl. (ha)	nieuwe natuur (%)	UNAT (domi-nante)	weeg-factor	0	0n	1	2	3	4	5	6
1_nat	5.4	28	hz-3.13 d	3.00	68.7	63.8	58.3	44.6	58.0	52.8	52.1	50.0
1_drg	22.3	17	ri-3.12 v	3.00	93.8	93.5	93.3	94.2	93.3	93.5	93.3	93.6
2_nat	18.4	96	ri-3.04	4.00	0.6	4.4	10.0	25.8	10.8	12.4	17.1	17.2
2_drg	43.1	4	ri-3.12 v	3.00	99.0	98.9	98.8	98.5	98.8	98.7	98.7	98.7
3_nat	6.4	28	hz-3.14 m	4.00	74.1	73.8	71.8	69.5	71.2	71.6	71.2	71.6
3_drg	20.9	14	hz-3.13 v	4.00	37.2	41.4	47.5	64.7	58.7	58.6	57.9	58.2
4_nat	97.1	98	ri-3.04	4.00	3.8	18.0	26.5	52.4	44.0	42.8	44.3	43.2
4_drg	20.3	8	ri-3.12 v	3.00	61.3	56.0	56.2	57.7	57.2	57.0	57.2	57.1
5_nat	11.1	99	ri-3.04	4.00	0.8	3.5	6.5	15.4	11.6	11.0	11.8	11.4
5_drg	22.2	14	ri-3.08 v	4.00	98.4	96.5	95.0	93.3	93.6	93.8	93.6	93.8
6_nat	0.9	75	ri-3.04	4.00	20.0	20.9	21.8	24.1	23.1	23.0	23.1	23.0
6_drg	34.9	5	ri-3.08 v	4.00	91.1	91.3	91.4	91.7	91.5	91.5	91.5	91.5
7_nat	1.6	96	ri-3.04	4.00	5.5	7.6	10.0	41.5	10.7	10.5	11.8	12.0
7_drg	23.1	9	ri-3.12 v	3.00	86.6	86.9	87.8	90.6	87.9	87.9	88.3	88.3
8_drg	38.8	6	ri-3.08 v	4.00	96.7	96.7	96.7	96.3	96.8	96.8	96.8	96.7
9_nat	13.4	96	ri-3.04	4.00	3.9	7.6	12.3	33.6	13.0	13.9	17.7	19.4
9_drg	55.8	7	ri-3.08 v	4.00	96.0	97.4	96.6	95.4	96.5	96.5	96.3	96.2
10_nat	12.4	91	ri-3.04	4.00	19.9	13.6	19.6	42.3	36.0	36.2	36.2	36.3
10_drg	7.1	23	hz-3.14 v	4.00	83.1	83.7	85.5	87.8	86.6	86.6	86.6	86.6
11_nat	25.9	81	ri-3.04	4.00	9.4	13.0	18.5	32.0	27.9	29.7	28.0	28.8
11_drg	22.0	14	ri-3.12 v	3.00	94.4	95.2	95.5	95.8	95.8	95.8	95.8	95.8
12_nat	1.3	70	ri-3.04	4.00	20.7	20.0	23.4	25.9	24.0	25.0	25.0	25.2
12_drg	28.1	6	ri-3.08 v	4.00	95.4	94.0	91.1	88.6	89.0	88.2	89.8	89.2
13_nat	9.0	82	ri-3.04	4.00	19.0	17.1	16.4	40.9	39.0	39.3	38.3	38.6
13_drg	25.9	8	ri-3.12 v	3.00	96.0	95.1	93.0	91.8	91.3	91.2	91.9	91.9
14_nat	5.0	71	ri-3.04	4.00	18.8	20.2	22.0	27.0	28.1	27.9	24.7	26.5
14_drg	61.3	6	ri-3.12 v	3.00	78.8	77.6	76.8	74.8	75.3	75.2	75.9	75.8
15_nat	1.8	93	ri-3.04	4.00	14.7	15.8	18.5	32.3	30.8	30.8	27.0	26.6
15_drg	34.2	8	ri-3.08 v	4.00	98.1	97.7	97.3	94.4	95.5	95.4	97.0	97.0
16_nat	3.3	97	ri-3.04	4.00	25.9	30.4	34.6	46.6	44.1	43.7	36.1	34.2
16_drg	18.0	3	ri-3.08 v	4.00	97.6	97.1	94.4	87.0	88.0	88.0	93.6	94.1
17_nat	8.4	97	ri-3.04	4.00	17.7	18.2	22.8	30.7	29.0	29.7	24.5	25.3
17_drg	23.9	6	ri-3.12 v	3.00	99.1	99.1	98.6	97.5	97.7	97.7	98.5	98.5
18_nat	19.6	96	ri-3.04	4.00	10.1	19.3	30.3	54.8	51.6	51.7	47.8	47.3
18_drg	6.2	20	ri-3.12 v	3.00	86.8	87.1	87.5	88.2	88.1	88.1	87.9	87.9
19_nat	33.5	71	ri-3.04	4.00	33.3	45.5	50.6	60.5	58.1	59.0	57.4	57.2
19_drg	37.4	5	hz-3.13 v	4.00	64.4	67.8	68.5	67.9	67.6	67.4	67.7	67.6
Tot/gem	820				60.9	63.7	65.8	72.2	69.9	69.8	70.1	70.0

Tabel 16 Ingevoerde randvoorwaarden aan natuurdoelrealisatie (%) in Waterwijs (WW); vergelijking met uitkomsten van SIMGRO-Waternood (SW).

zone	opp. vl. (ha)	nieuwe natuur (%)	UNAT (domi-nante)	0n SW	4 WW	4 SW	5 WW	5 SW	6 WW	6 SW
4_nat	97.1	98	ri-3.04	18.0	49.8	42.8	49.8	44.3	49.8	43.2
10_nat	12.4	91	ri-3.04	13.6	41.8	36.2	41.1	36.2	41.1	36.3
13_nat	9.0	82	ri-3.04	17.1	44.6	39.3	43.0	38.3	43.0	38.6
16_nat	3.3	97	ri-3.04	30.4	45.0	43.7	35.3	36.1	35.3	34.2
18_nat	19.6	96	ri-3.04	19.3	53.7	51.7	54.2	47.8	54.2	47.3
19_nat	33.5	71	ri-3.04	45.5	60.5	59.0	60.4	57.4	60.4	57.2

Bij de vergelijking met de rekenruns die zijn gedaan voor de selectie van nieuwe natuur (hoofdstuk 3) moet men niet vergeten dat daarbij toen overal 'nat' is ingericht. In de hier beschreven runs wordt de 'droge' natuur een passende inrichting gegeven, met negatieve gevolgen voor de doelrealisatie van natte (nieuwe) natuur.

5.5.3 Effecten op landbouwsaldo's

In Tabel 17 zijn de effecten op de landbouwschadesaldo's samengevat. Daarbij is alleen het areaal betrokken dat na inrichting van nieuwe natuur overblijft, vanwege de vergelijkbaarheid van de bedragen. Het gaat daarbij om een areaal van 3554 ha. In Aanhangsel 11 zijn de ruimtelijke beelden van de effecten weergegeven, terwijl in Aanhangsel 12 de totale landbouwdoelrealisaties zijn opgenomen. Die doelrealisaties zijn berekend conform de definitie in het Waternoodinstrumentarium, namelijk door de totale schade in % af te rekken van 100%.

Uit het verschil tussen variant 0 (AGOR) en 0n (inrichting nieuwe natuur, aanpassing intern waterbeheer) blijkt dat er een lichte toename van de natschade wordt voorspeld, evenals een lichte afname van de droogteschade; het effect van de natschade overheerst, dus netto is er een toename van de schade.

Het effectenplaatje voor VGOR-max-landbouw kan de vraag oproepen: hoe kan het zijn dat Waterwijs ervoor kiest voor een lokale toename van de netto schade, terwijl wat betreft de onderlinge effecten wordt gewerkt met 'schotten-vast' in het landbouwgebied? De verklaring hiervoor is dat Waterwijs alleen kijkt naar de *primaire* effecten – het model ziet dat vernatten van de wat hoger liggende gronden winst oplevert, en het kiest daarvoor. Bij de evaluatie met SIMGRO-Waternood komen dan ook de (secundaire) ruimtelijke effecten in beeld, waarbij blijkt dat sommige boeren er iets op achteruitgaan.

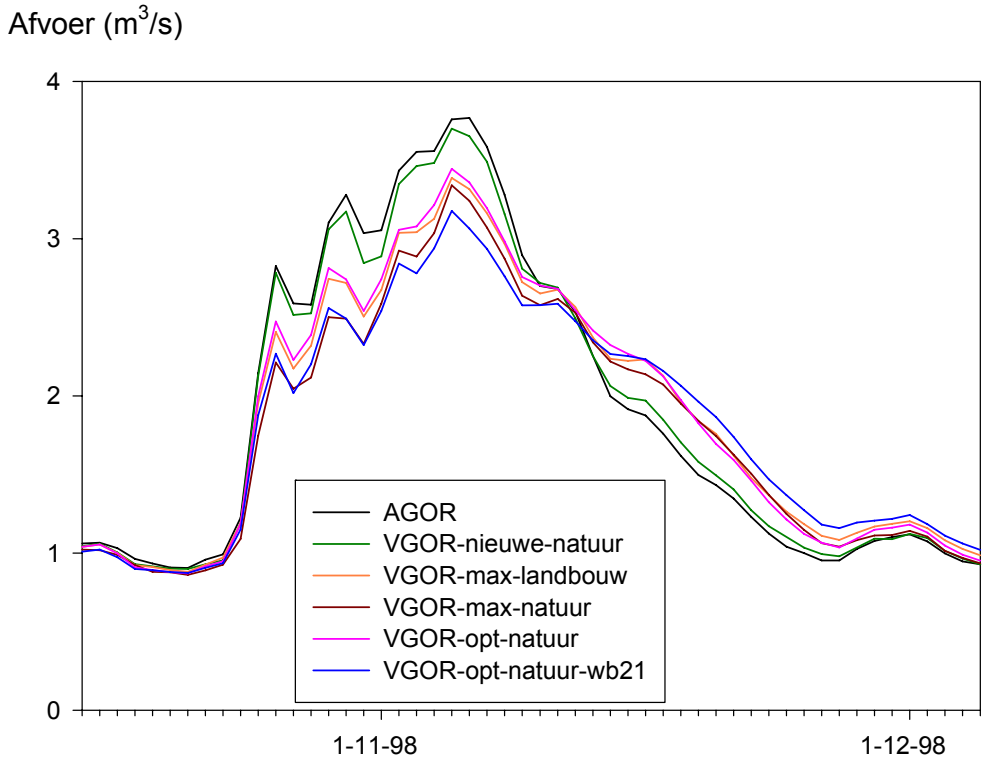
In de effectenplaatjes speelt mee dat Waternood de grondwaterstanden eerst afrondt op 5 cm voordat er wordt geëvalueerd. Daardoor ontstaat een extra vlekkerig beeld dat de interpretatie van effecten bemoeilijkt.

Tabel 17 Gesommeerde effecten op droogte- en natschade, voor de verschillende varianten.

Variant	S_{nat} (k€/ jaar)	ΔS_{nat} (k€/ jaar)	S_{drg} (k€/ jaar)	ΔS_{drg} (k€/ jaar)	S_{tot} (k€/ jaar)	ΔS_{tot} (k€/ jaar)	S_{nat} (€/ha /jaar)	ΔS_{nat} (€/ha /jaar)	S_{drg} (€/ha /jaar)	ΔS_{drg} (€/ha /jaar)	S_{tot} (€/ha /jaar)	ΔS_{tot} (€/ha /jaar)
0	152.5		334.8		487.3		42.9		94.2		137.1	
0n	162.2	9.7	328.1	-6.7	490.3	3.0	45.6	2.7	92.3	-1.9	138.0	0.8
1	170.9	18.4	312.0	-22.8	482.9	-4.4	48.1	5.2	87.8	-6.4	135.9	-1.2
2	267.2	114.7	276.8	-58.0	544.0	56.7	75.2	32.3	77.9	-16.3	153.1	16.0
3	193.1	40.6	299.4	-35.4	492.5	5.2	54.3	11.4	84.2	-10.0	138.6	1.5
4	197.9	45.4	303.1	-31.7	501.0	13.7	55.7	12.8	85.3	-8.9	141.0	3.9
5	189.4	36.9	300.6	-34.2	490.0	2.7	53.3	10.4	84.6	-9.6	137.9	0.8
6	193.7	41.2	303.8	-31.0	497.5	10.2	54.5	11.6	85.5	-8.7	140.0	2.9

5.5.4 Effecten op piekafvoeren

Effecten op de piekafvoeren zijn weergegeven in Figuur 45. Uitgebeeld zijn de tweedaagse voortschrijdende gemiddelden van de afvoer bij het uitstroompunt van de Langbroekerwetering. Het tweedaags gemiddelde is genomen omdat dan een beter onderscheidbaar beeld van de afvoerverlopen ontstaat.



Figuur 45 Piekafvoerverlopen voor de verschillende varianten; geplot zijn de tweedaagse voortschrijdende gemiddelde afvoeren

6 Op weg naar het Gewenste Grond- en Oppervlaktewater-regime

6.1 Inleiding

Na de verkenning van de hoekpunten van het speelveld zoals beschreven in het vorige hoofdstuk is in de vervolgfase toegewerkt naar het geven van een aanbeveling voor de 'Voorkeursvariant'. Daartoe zijn eerst een viertal inrichtingsvarianten doorgerekend met als doel het speelveld meer in detail te verkennen, rekening houdend met reeds in gang gezette ontwikkelingen in het gebied. Deze vier varianten hebben de volgende globale kenmerken:

7. Nieuwe inrichting van bestaande natuur en reeds verworven nieuwe natuur (inclusief de zogenaamde SN- en SAN-gebieden), waarbij het landbouwgebied ongewijzigd blijft ("VGOR-N+L=")
8. Natuur als in 7, waarbij in het landbouwgebied maatregelen worden genomen om de omstandigheden voor de landbouw te optimaliseren ("VGOR-N+L+")
9. Natuur als in 7, plus het zoekgebied voor nieuwe natuur (zoals gebruikt in hoofdstuk 4 en 5; in bufferzones maatregelen om de natuurdoelrealisatie te maximaliseren, waarbij in het landbouwgebied de situatie ongewijzigd blijft ("VGOR-N++L=")
10. Natuur als in 9, waarbij in het resterende landbouwgebied maatregelen worden genomen om de omstandigheden voor de landbouw te optimaliseren ("VGOR-N++L+")

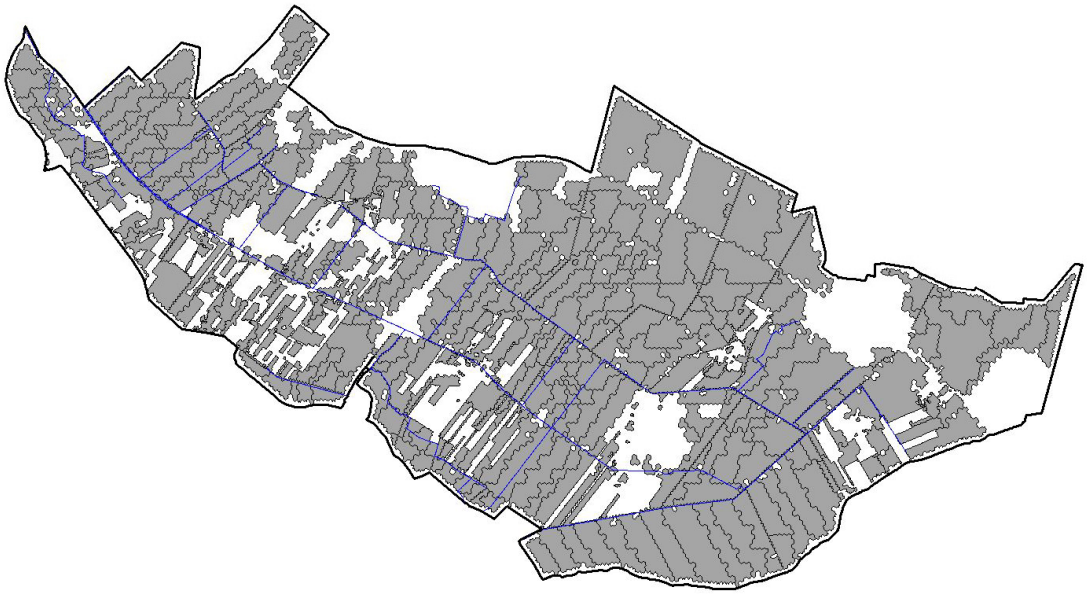
Vervolgens is mede op basis van rekenresultaten voor deze varianten een zogenaamde Voorkeursvariant samengesteld.

In het navolgende wordt in par. 6.2 de bovengenoemde varianten 7-10 verder uitgewerkt, gevolgd door een korte beschrijving van de overwegingen die hebben geleid tot variant 11, de Voorkeursvariant. In par. 6.3 worden de resultaten gepresenteerd en kort besproken.

6.2 Varianten

6.2.1 Verdere verkenning van het speelveld

De varianten 1-6 waren gegenereerd met een hoge resolutie van de planningseenheden. Voor het toewerken naar een Voorkeursvariant werd dat gezien als bezwaarlijk, in verband met problemen bij de implementatie (acceptatie en technische uitvoerbaarheid). Daarom is een clustering van de oorspronkelijke planningseenheden aangebracht door het hoogheemraadschap, zoals weergegeven in Figuur 46. In het landbouwgebied diende ervoor gezorgd te worden dat de maatregelen binnen de geclusterde planningseenheden gelijk zijn. Deze worden in het vervolg "percelen" genoemd (die eigenlijk een clustering van echte percelen zijn). Deze clustering van planningseenheden is geïmplementeerd in het Waterwijs-model.



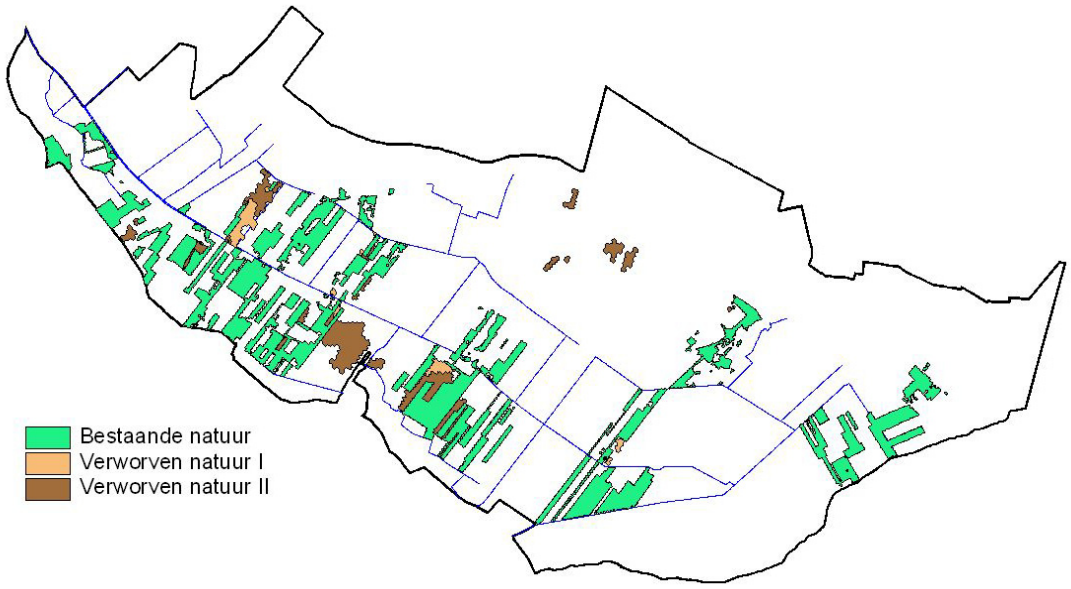
Figuur 46 Geclusterde planningseenheden in het 'landbouwgebied' (bestaande landbouwgebied minus geselecteerde nieuwe natuur)

Maatregelen voor variant 7 (VGOR-$N^{+}L^{=}$)

In de variant worden de volgende deelgebieden onderscheiden:

1. bestaande natuur;
2. verworven natuur (inclusief SN- en SAN-gebieden) die binnen de geselecteerde nieuwe natuur van "hoofdvariant 2" valt ("Verworven natuur I" in Figuur 47)
3. verworven natuur (inclusief SN- en SAN-gebieden) die buiten de geselecteerde nieuwe natuur van "hoofdvariant 2" valt; ("Verworven natuur II" in Figuur 47)
4. landbouwgebied

De deelgebieden 1 en 2 (zie Figuur 47) worden ingericht volgens de maatregelen van hoofdstuk 4, die ook zijn aangehouden in varianten 1-6 van hoofdstuk 5. In deelgebied 3 wordt de inrichting gelaten zoals die nu is, omdat deze natuur verworven is zonder specifiek te letten op voor 'natte' natuur gunstige omstandigheden.(deze gebieden worden dus als landbouwgebied geëvalueerd en hebben ook een maatregel tbv landbouw) Een 'droog' natuurdoeltype wordt toegekend voor de Waternood-evaluaties. In het landbouwdeelgebied worden geen maatregelen genomen. Daarnaast wordt ook het zoekgebied nieuwe natuur geëvalueerd.



Figuur 47 Deelgebieden gebruikt bij de formulering van varianten

Maatregelen voor variant 8 (VGOR-N^+L^+)

De deelgebieden van Figuur 47 worden ingericht zoals in VGOR N+L=. Voor het landbouwgebied wordt onderscheid gemaakt tussen:

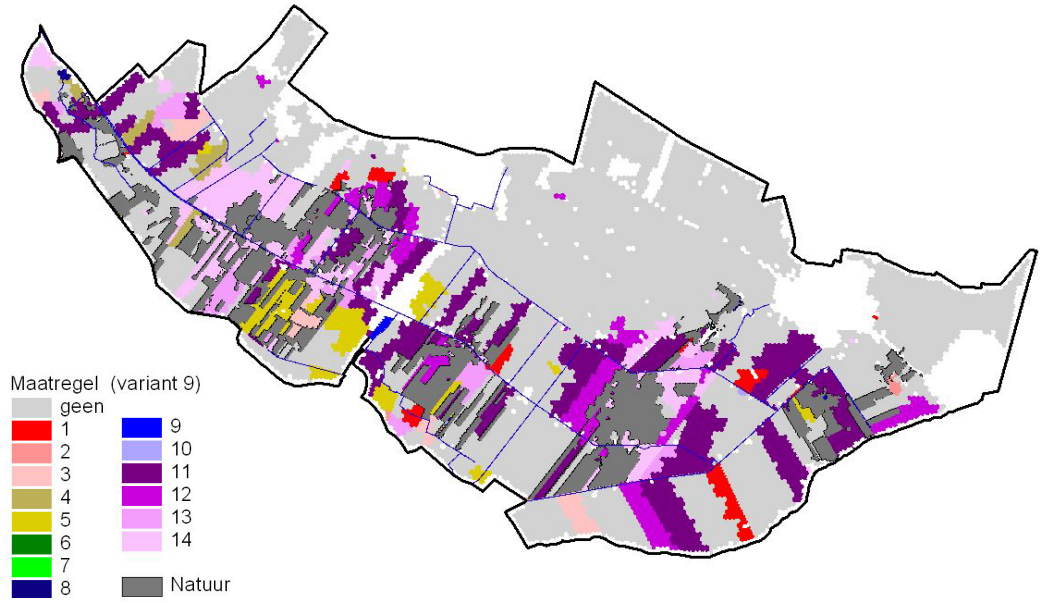
- het deel dat ook landbouwgebied is in de varianten 1-6 van hoofdstuk 5; dat wordt met Waterwijs geoptimaliseerd;
- het deel dat valt binnen de geselecteerde natuur van hoofdstuk 4 (en dat tevens gebruikt is in de varianten 1-6 van hoofdstuk 5), maar dat inmiddels nog niet verworven is als nieuwe natuur wordt als "resterende landbouwgebied" beschouwd; hier worden maatregelen genomen gebaseerd op een vuistregel (zie onder).

Om voor het "resterende landbouwgebied" met een vuistregel een maatregel te bepalen wordt alleen gekeken naar de deelmaatregelen "verdubbeling slootdichtheid" en "verhoging drempel", waarbij dat laatste bestaat uit verondieping van sloten. Op basis van een analyse van de GHG (AGOR) en de gekozen optimale maatregel (run van de speelveldverkenning) wordt ervoor gekozen om:

- alleen de slootdichtheid te vergroten indien GHG < 40 cm -mv;
- de slootdichtheid te verdubbelen en de afvoerdrempel te verondiepen indien 60 cm –mv > GHG > 40 cm –mv;
- alleen de afvoerdrempel te verhogen indien 60 cm –mv < GHG

Maatregelen voor variant 9 (VGOR-N^{++}L$^{=}$)

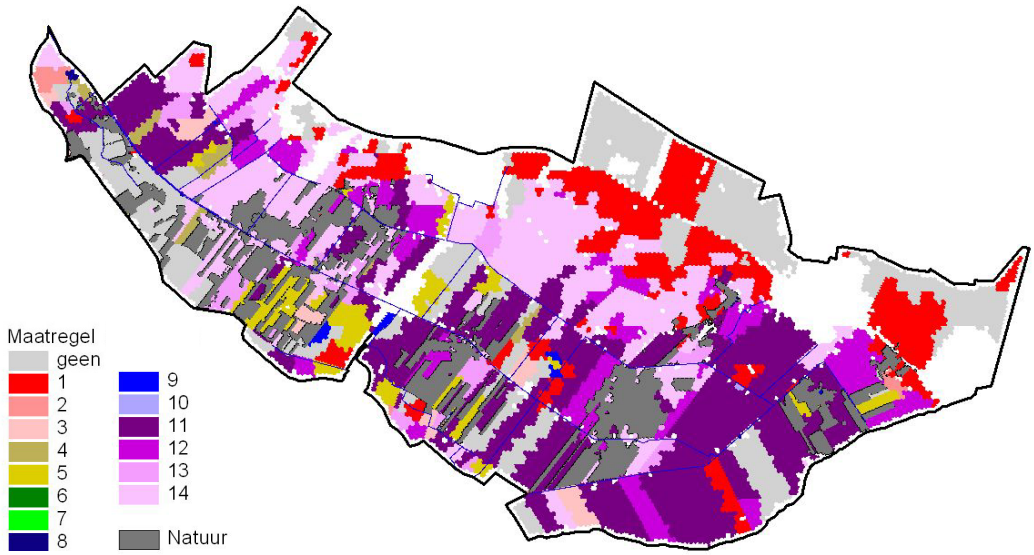
Voor de bestaande natuurgebieden en de zoekgebieden geselecteerd als nieuwe natte natuur (zoals ook gebruikt in hoofdstuk 4 en 5) worden randvoorwaarden opgelegd zoals in variant 5 van hoofdstuk 5. Het door Waterwijs gegenereerde maatregelpatroon wordt alleen als zodanig aangehouden in dat deel van het gebied dat feitelijk als bufferzone fungeert. In het gebied daarbuiten worden geen maatregelen genomen. Om welke planningseenheden het daarbij feitelijk gaat wordt bepaald door een vergelijking te maken met de maatregelen die voor VGOR-N+L+ (zie boven) worden gevonden. Als de maatregel gelijk is aan de maatregel in VGOR-N++L+, dan wordt aangenomen dat het gaat om het gebied buiten de bufferzone, en wordt de maatregel in deze variant dus niet geïmplementeerd. Het resultaat van deze selectie is weergegeven in Figuur 48.



Figuur 48 Maatregelpatroon variant 9. Onder "natuur" wordt hier verstaan de bestaande natuur plus de binnen het zoekgebied geselecteerde natuur (hoofdstuk 3, Figuur 26a) voor de Waterwijsruns

Maatregelen voor variant 10 (VGOR-N^{++}L^{+})

Voor de bestaande natuurgebieden wordt de inrichting als in variant 9 aangehouden. Voor de zoekgebieden nieuwe natte natuur in hoofdvariant 2 worden randvoorwaarden opgelegd zoals in variant 3. Het door Waterwijs gegenereerde maatregelpatroon in het landbouwgebied wordt i.t.t. variant 9 nu wel modelmatig geïmplementeerd, zoals weergegeven in Figuur 49.



Figuur 49 Maatregelpatroon variant 10. Onder "natuur" wordt hier verstaan de bestaande natuur plus de binnen het zoekgebied geselecteerde natuur (hoofdstuk 3, Figuur 26a) voor de Waterwijsruns

6.2.2 De Voorkeursvariant

Op basis van de resultaten voor de varianten 7-10 (par. 6.3) waren de conclusies van de Projectgroep Langbroekerwetering (op hoofdlijnen):

- dat zowel in het landbouwgebied als in natuurgebieden er mogelijkheden zijn om de waterhuishouding te verbeteren;
- door de ligging van de verschillende natuurdoelen (natte en droge types naast elkaar) de maatregelselectie niet optimaal lijkt;
- dat een nadere verkenning van de landbouwwensen nodig is: waar is vermindering van natschade belangrijk en waar vermindering van de droogteschade;
- dat een nadere verkenning van de natuurwensen nodig is: welke natuurdoeltypen zijn in welk deel van het gebied het meest belangrijk?

Natuurwensen

Het waterschap heeft overleg gehad met de Provincie Utrecht over de selectie van maatregelen ten behoeve van natuur (Figuur 50). De conclusies daaruit zijn als volgt:

- bij het zoekproces naar hydrologische maatregelen in bestaande natuurgebieden richten we ons in de natte zone (tussen Kromme Rijn en Langbroekerwetering en een aantal natte delen tussen Langbroekerwetering en Gooyerwetering) op het natuurdoeltype nat schraalgrasland. Alle droge UNAT's worden in dit gebied meegenomen als de vochtige variant, zodat de maatregelen binnen die UNAT ook gericht zijn op vernatting;
- voor de Vogel- en Habitatrichtlijngebieden (1 in Kolland en 1 in Overlangbroek) richten we ons voor wat betreft de maatregelen op het bijbehorende natuurdoeltype (essenhakhout);
- de overige bestaande natuur noordelijk van de Gooyerwetering is droge natuur, daar zijn in principe geen hydrologische maatregelen nodig. Deze UNAT's zijn hetzelfde gebleven;

- voor de nieuwe, reeds gerealiseerde natuur wordt als natuurdoeltype nat schraalgrasland aanhouden.

Het zoekgebied nieuwe natuur wordt in deze variant niet meegenomen.

Landbouwwensen

Het waterschap heeft overleg gehad met vertegenwoordigers van de agrarische sector over de wensen van de landbouw ten aanzien van het waterbeheer.. De conclusies hieruit zijn als volgt (zie Aanhangsel 13):

- in de zone tussen Gooyerwetering en de Heuvelrug is het voor de landbouw wenselijk om meer water vast te houden (vermindering droogteschade);
- in de zone tussen Langbroekerwetering en de Gooyerwetering en tussen Amerongerwetering en Lekdijk is de landbouw in grote lijnen tevreden met het huidige waterbeheer en hoeven dus voor de landbouw geen maatregelen genomen worden;
- in de zone tussen Kromme Rijn en Langbroekerwetering is het erg nat. Maatregelen in landbouwgebied zouden dan ook zoveel mogelijk gericht moeten zijn op vermindering van natschade.

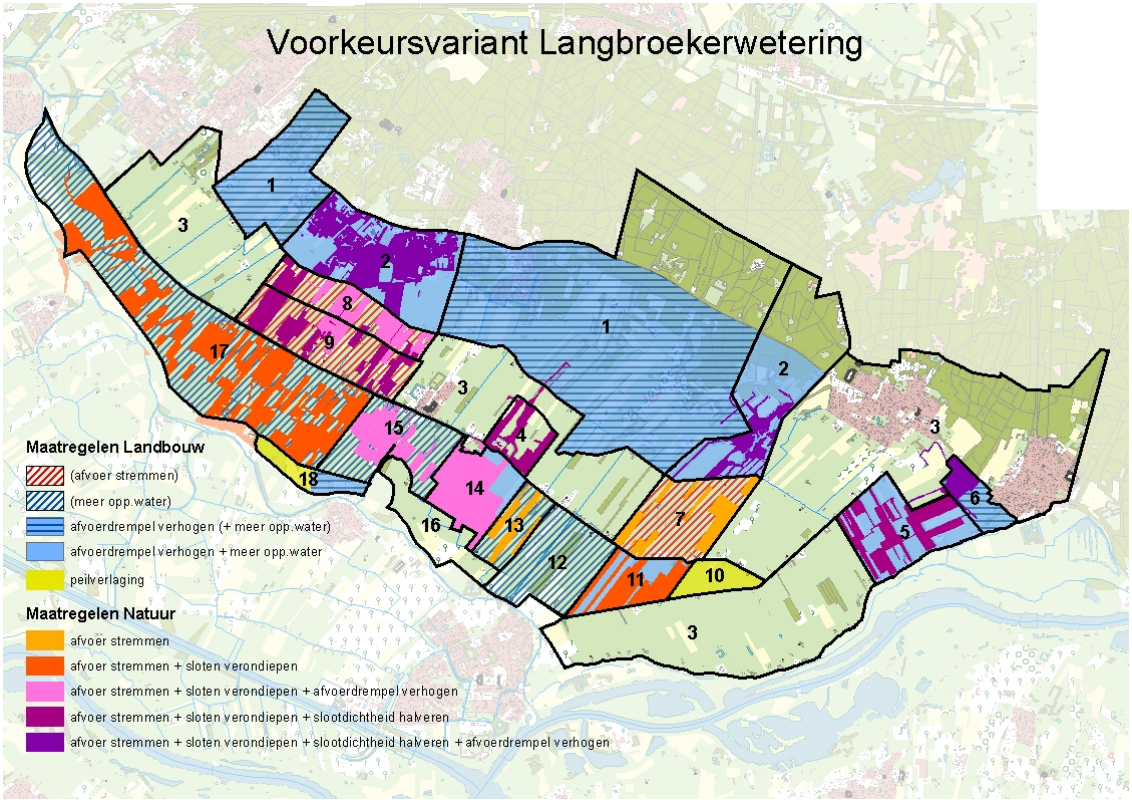
Maatregelen voor variant 11 (VV, Voorkeursvariant)

De Projectgroep Langbroekerwetering heeft op basis van deze informatie het gebied opgedeeld in deelgebieden. Per gebied is gekeken naar de wens van landbouw en natuur en het resultaat van de modelberekeningen uit de speelveldverkenning. In Aanhangsel 13 is een stroomschema opgenomen dat op hoofdlijnen is gebruikt voor het maken van de keuzes. In Aanhangsel 13 is tevens in tabelvorm per deelgebied een aantal criteria voor landbouw en natuur beschreven en op basis daarvan aangegeven welke maatregelen in dat deelgebied voor zowel landbouw als natuur worden voorgesteld (Aanhangsel 14). In Figuur 50 zijn de voorgestelde maatregelen op kaart weergegeven.

De voorgestelde Voorkeursvariant sluit in grote delen van het gebied aan bij de wensen van zowel landbouw als natuur. In de volgende deelgebieden zijn de wensen echter verschillend en moeten er keuzes gemaakt worden (Figuur 50) :

- *Gebied Kolland/Zuilenstein (5-6).* Landbouw en natuur zijn hier sterk versnipperd. Kolland is aangewezen als VHR-gebied[1]. Voorgesteld wordt om ook in het landbouwgebied de maatregelen af te stemmen op de (natte) natuur.
- *Overlangbroek tussen LBW en Goyerwetering(7).* Landbouw en natuur zijn hier sterk versnipperd. Stremming van de afvoer in het gehele gebied is gunstig voor zowel het bovenstrooms gelegen Broekhuizen als het benedenstrooms gelegen VHR-gebied Overlangbroek. Daarom wordt voorgesteld om in het landbouwgebied de maatregelen af te stemmen op de (natte) natuur.

[1] Vogel- en Habitat Richtlijn



Figuur 50 Voorkeursvariant

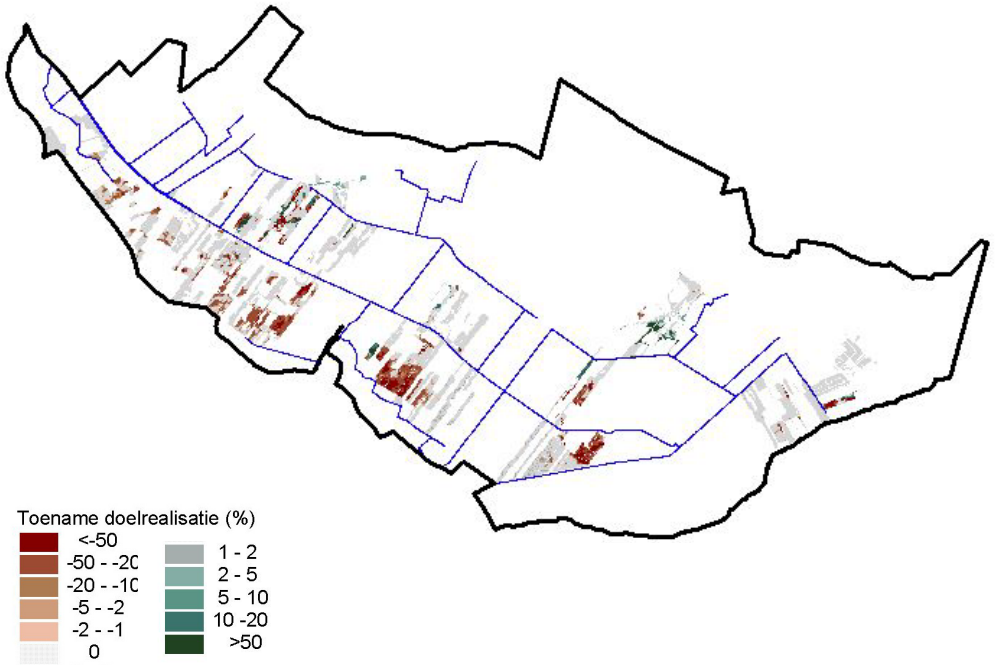
Gebied rondom Leeuwenburg (8/9). Landbouw en natuur zijn hier sterk versnipperd. Landbouw wil geen maatregelen, natuur wil natter. Potenties natuur zijn groot. Voorgesteld om in het landbouwgebied maatregelen af te stemmen op de natuur.

- *Overlangbroek (11).* Gebied is VHR gebied. Gebied is grotendeels natuur met een paar snippers landbouw. Voorgesteld wordt om hier de maatregelen in het hele gebied af te stemmen op de natuur.
- *Gebied tussen LBW en Kromme Rijn tussen Langbroek en Odijk (17).* Landbouw en natuur zijn hier sterk versnipperd. Landbouw wil het droger, natuur natter. Door de sterke versnippering is hydrologische isolatie van natuurgebieden nauwelijks mogelijk. Vernatting in het landbouwgebied heeft daar nauwelijks positief effect op natuur. Voorgesteld wordt om daar in het landbouwgebied geen maatregelen te nemen, maar waar mogelijk extra open water te realiseren om daarmee de pieken te verminderen (terugdringen van natschade). Voor de natuur wordt voorgesteld om een schoonwatertrace aan te leggen om zo de natuurgebieden onderling hydrologisch te verbinden.

6.3 Effecten

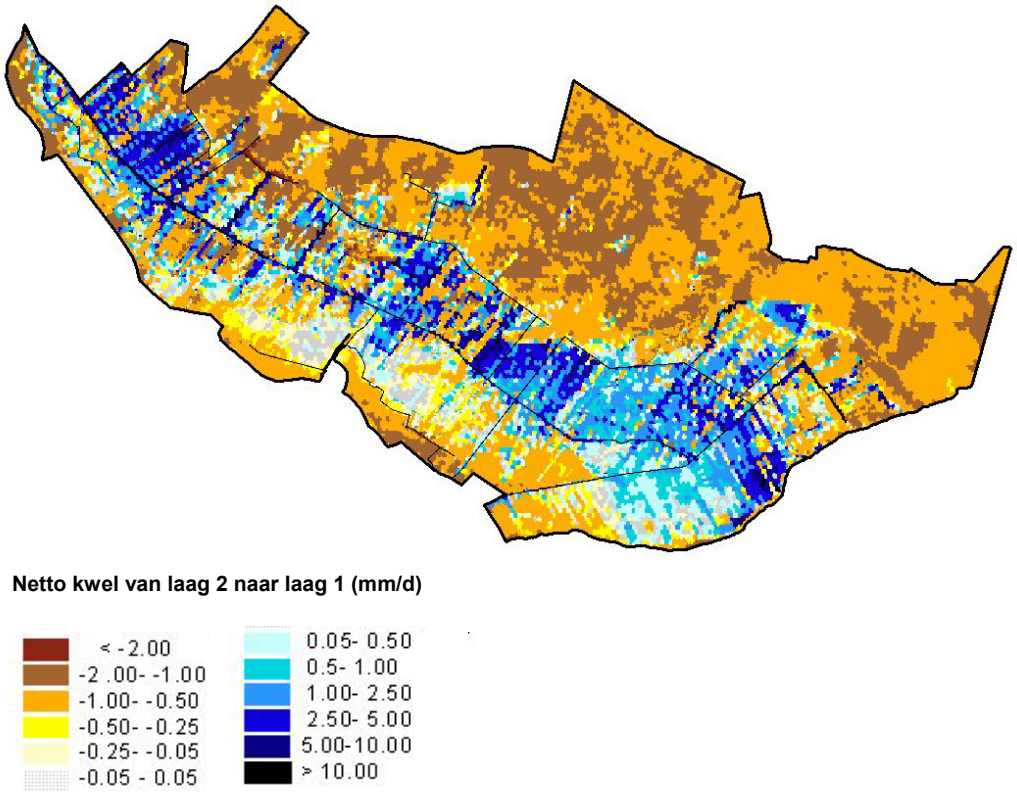
6.3.1 Effecten op natuurdoelrealisaties

De effecten op de naturdoelrealisaties zijn per 'natuurzone' samengevat in Tabel 18. In Figuur 51 is de verandering van de natuurdoelrealisatie uitgebeeld voor de Voorkeursvariant in vergelijking met de AGOR. Over het algemeen wordt een verslechtering van de natuurdoelrealisatie voorspeld. De reden hiervoor is dat de gebruikte kaart van natuurdoeltypen (UNATs) niet strookt met de natuurwens zoals beschreven in par. 6.2.2. Destijds zijn namelijk de UNATs voornamelijk gebaseerd op de huidige situatie, en niet zozeer op potenties (zie ook Aanhangsel 1). In Figuur 52 en 53 zijn respectievelijk de kwel en de ecologisch relevante kwel uitgebeeld. Vergelijking met de AGOR (Hermans e.a. 2004, p. 57[2]) laat zien dat de kwel op sommige plaatsen is toegenomen maar op andere plaatsen juist is afgenomen, met name in het deelgebied 5 van Figuur 50. Dat de kwel daar gevoelig reageert komt doordat het voor een groot deel rivierkwel betreft die vanuit de Nederrijn wordt aangevoerd. Het stijghoogteverschil daarvan is relatief klein en derhalve is de kwel nogal gevoelig voor vernattingsmaatregelen die de tegendruk naar de ondergrond toe verhogen en daardoor de kwel afremmen.

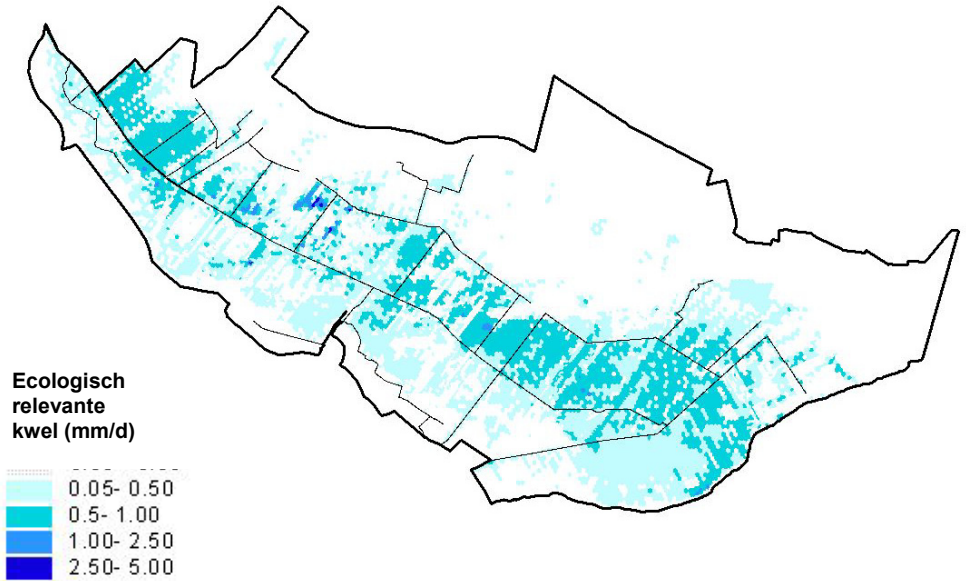


Figuur 51 Verandering van de natuurdoelrealisatie (berekend met SIMGRO-Waternood), voor de Voorkeursvariant in vergelijking met de AGOR.

[2] gecorrigeerde versie, vanaf 2007 op www.alterra.wur.nl



Figuur 52 Netto kwel (mm/dag) van laag 2 naar laag 1 berekend voor de voorkeursvariant



Figuur 53 Ecologisch relevant kwel (mm/dag) van laag 2 naar laag 1 berekend voor de voorkeursvariant

Tabel 18 Natuurdoelrealisaties in de natuurzones, voor de met Waterwijs verkregen varianten, berekend met SIMGRO-Waternood.

zone	opp. vl. (ha)	UNAT (domi-nante)	weeg-factor	0	0n	9	10
1_nat	5.4	hz-3.13 d	3.00	68.7	63.8	57.7	52.7
1_drg	22.3	ri-3.12 v	3.00	93.8	93.5	93.1	93.3
2_nat	18.4	ri-3.04	4.00	0.6	4.4	13.0	18.7
2_drg	43.1	ri-3.12 v	3.00	99.0	98.9	98.7	98.7
3_nat	6.4	hz-3.14 m	4.00	74.1	73.8	72.8	70.4
3_drg	20.9	hz-3.13 v	4.00	37.2	41.4	51.8	58.7
4_nat	97.1	ri-3.04	4.00	3.8	18.0	37.8	44.1
4_drg	20.3	ri-3.12 v	3.00	61.3	56.0	56.8	57.4
5_nat	11.1	ri-3.04	4.00	0.8	3.5	8.7	12.2
5_drg	22.2	ri-3.08 v	4.00	98.4	96.5	94.4	93.8
6_nat	0.9	ri-3.04	4.00	20.0	20.9	22.4	23.1
6_drg	34.9	ri-3.08 v	4.00	91.1	91.3	91.4	91.6
7_nat	1.6	ri-3.04	4.00	5.5	7.6	10.9	14.5
7_drg	23.1	ri-3.12 v	3.00	86.6	86.9	87.7	88.7
8_drg	38.8	ri-3.08 v	4.00	96.7	96.7	96.7	96.7
9_nat	13.4	ri-3.04	4.00	3.9	7.6	17.0	22.0
9_drg	55.8	ri-3.08 v	4.00	96.0	97.4	96.3	96.0
10_nat	12.4	ri-3.04	4.00	19.9	13.6	29.1	37.2
10_drg	7.1	hz-3.14 v	4.00	83.1	83.7	85.9	86.8
11_nat	25.9	ri-3.04	4.00	9.4	13.0	26.1	28.4
11_drg	22.0	ri-3.12 v	3.00	94.4	95.2	95.8	95.8
12_nat	1.3	ri-3.04	4.00	20.7	20.0	24.6	24.9
12_drg	28.1	ri-3.08 v	4.00	95.4	94.0	89.0	88.6
13_nat	9.0	ri-3.04	4.00	19.0	17.1	38.3	39.5
13_drg	25.9	ri-3.12 v	3.00	96.0	95.1	91.5	91.3
14_nat	5.0	ri-3.04	4.00	18.8	20.2	27.1	27.8
14_drg	61.3	ri-3.12 v	3.00	78.8	77.6	75.4	75.3
15_nat	1.8	ri-3.04	4.00	14.7	15.8	27.4	28.6
15_drg	34.2	ri-3.08 v	4.00	98.1	97.7	96.7	96.7
16_nat	3.3	ri-3.04	4.00	25.9	30.4	35.4	37.6
16_drg	18.0	ri-3.08 v	4.00	97.6	97.1	93.7	93.0
17_nat	8.4	ri-3.04	4.00	17.7	18.2	24.5	27.1
17_drg	23.9	ri-3.12 v	3.00	99.1	99.1	98.5	98.3
18_nat	19.6	ri-3.04	4.00	10.1	19.3	46.8	50.4
18_drg	6.2	ri-3.12 v	3.00	86.8	87.1	87.9	88.0
19_nat	33.5	ri-3.04	4.00	33.3	45.5	55.7	58.9
19_drg	37.4	hz-3.13 v	4.00	64.4	67.8	67.9	67.4
Tot/gem	820			60.9	63.7	68.7	70.3

6.3.2 Effecten op landbouwschadesaldo's

De effecten op de landbouwschadesaldo's zijn samengevat in Tabel 19 en 20. De ruimtelijke beelden van veranderingen zijn opgenomen in Aanhangsel 11. Een voorbeeld is eruitgelicht en opgenomen in Figuur 54. In dat beeld overweegt een toename van de natschade, overeenkomend met het ondieper worden van de GHG. Het gebied middenonder valt op doordat het een (kleine) vermindering van de schade aangeeft, terwijl er op de maatregelkaart (Figuur 50) geen maatregel is voorzien. Om het ruimtelijke patroon van veranderingen te begrijpen dient men te beseffen dat er drie soorten van hydrologische beïnvloeding zijn:

- lokale beïnvloeding, als gevolg van de lokaal getroffen maatregelen en de directe effecten die dat heeft op het grondwater via beïnvloeding van de drainage- en infiltratie-flux;
- regionale beïnvloeding via de regionale grondwaterstroming;
- regionale beïnvloeding via het oppervlaktewater.

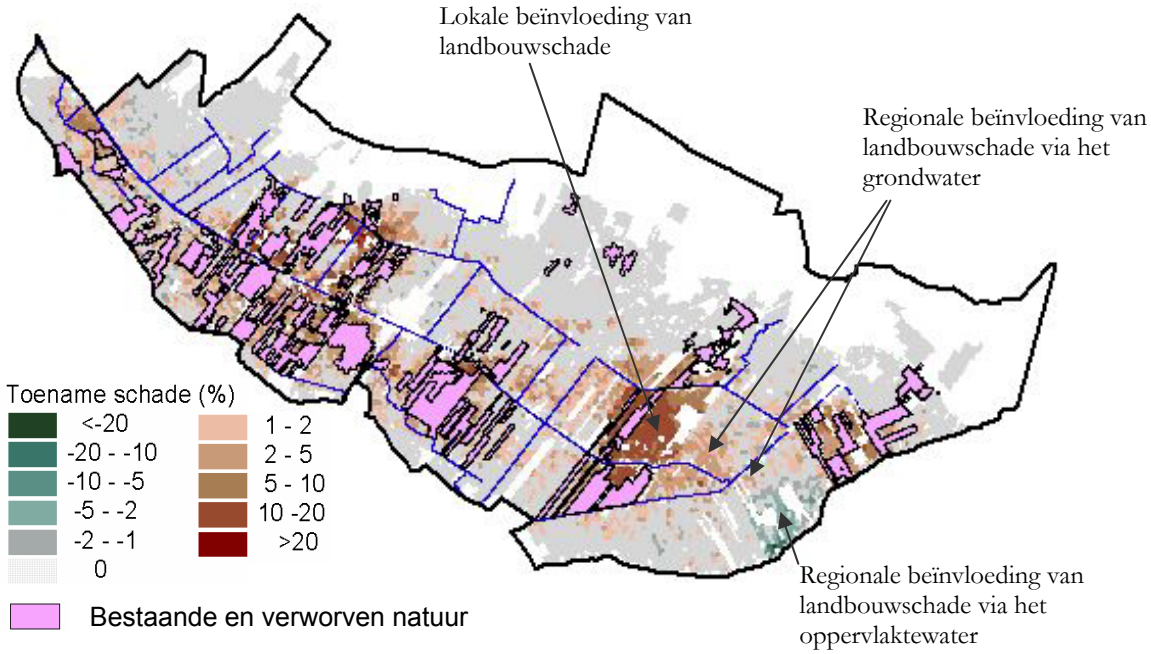
Op een bepaalde locatie kunnen er meerdere soorten van beïnvloeding actief zijn. Het in Figuur 54 aangegeven voorbeeld van lokale beïnvloeding is het gevolg van de maatregel "afvoerstremmen" in deelgebied 7 van Figuur 50: als gevolg van het vasthouden van water via een duikerconstructie bij de uitstroomopeningen van de 'haarvat-afwateringseenheden' wordt de afvoer van oppervlaktewater vertraagd. Daardoor wordt de ontwatering afgeremd, wat leidt tot het ondieper worden van de GHG. Het in deelgebied 10 van Figuur 50 verlagen van het peil heeft kennelijk lokaal geen effect, dus ook niet regionaal. De gezamenlijke invloed van de vernattende maatregelen in deelgebieden 5 en 7 hebben ook een regionale uitstraling via het grondwater, zoals aangegeven in Figuur 54. De maatregelen in deelgebied 5 hebben echter ook tot gevolg dat water wordt vastgehouden. Dat leidt tot een gematigder verloop van de piekafvoeren, waardoor in het aangegeven benedenstroomse gebied er juist een verlaging van de GHG optreedt. Op de scheidslijn tussen verhoging en verlaging van de natschade houden de regionale beïnvloedingen via respectievelijk het grond- en oppervlaktewater elkaar in evenwicht.

Tabel 19 Effecten op landbouwschadesaldo's voor het landbouwgebied dat overblijft na aftrek van bestaande + nieuwe natuur. Het betreffende areaal is 3554 ha.

Variant	S_{nat} (k€/ jaar)	ΔS_{nat} (k€/ jaar)	S_{drg} (k€/ jaar)	ΔS_{drg} (k€/ jaar)	S_{tot} (k€/ jaar)	ΔS_{tot} (k€/ jaar)	S_{nat} (€/ha /jaar)	ΔS_{nat} (€/ha /jaar)	S_{drg} (€/ha /jaar)	ΔS_{drg} (€/ha /jaar)	S_{tot} (€/ha /jaar)	ΔS_{tot} (€/ha /jaar)
0	152.5		334.8		487.3		42.9		94.2		137.1	
0n	162.2	9.7	328.1	-6.7	490.3	3.0	45.6	2.7	92.3	-1.9	138.0	0.8
7	160.0	7.5	337.8	3.0	497.8	10.5	45.0	2.1	95.0	0.8	140.1	3.0
8	170.9	18.4	315.3	-19.5	486.2	-1.1	48.1	5.2	88.7	-5.5	136.8	-0.3
9	184.2	31.7	317.5	-17.3	501.7	14.4	51.8	8.9	89.3	-4.9	141.2	4.1
10	198.6	46.1	295.4	-39.4	494.0	6.7	55.9	13.0	83.1	-11.1	139.0	1.9
11	184.8	32.3	318.1	-16.7	502.9	15.6	52.0	9.1	89.5	-4.7	141.5	4.4

Tabel 20 Effecten op landbouwschadesaldo's voor het landbouwgebied dat overblijft na aftrek van bestaande + nieuwe natuur + verworven natuur. Het betreffende areaal is 3462.1 ha.

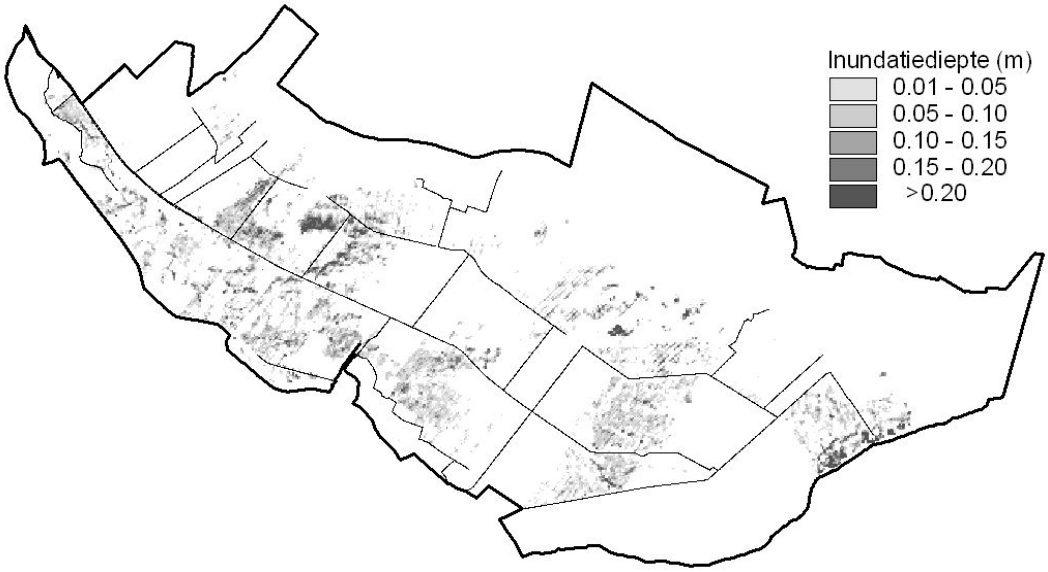
Variant	S_{nat} (k€/ jaar)	ΔS_{nat} (k€/ jaar)	S_{drg} (k€/ jaar)	ΔS_{drg} (k€/ jaar)	S_{tot} (k€/ jaar)	ΔS_{tot} (k€/ jaar)	S_{nat} (€/ha /jaar)	ΔS_{nat} (€/ha /jaar)	S_{drg} (€/ha /jaar)	ΔS_{drg} (€/ha /jaar)	S_{tot} (€/ha /jaar)	ΔS_{tot} (€/ha /jaar)
0	147.7		328.0		475.7		42.7		94.7		137.4	
0n	162.2	9.7	328.1	-6.7	490.3	3.0	45.6	2.7	92.3	-1.9	138.0	0.8
7	154.2	6.5	331.1	3.0	485.3	9.6	44.5	1.9	95.6	0.9	140.2	2.8
8	165.0	17.3	308.8	-19.3	473.8	-1.9	47.7	5.0	89.2	-5.6	136.8	-0.6
9	177.4	29.8	311.1	-17.0	488.5	12.8	51.2	8.6	89.9	-4.9	141.1	3.7
10	191.7	44.1	289.3	-38.8	481.0	5.3	55.4	12.7	83.6	-11.2	138.9	1.5
11	175.2	27.5	311.6	-16.4	486.8	11.1	50.6	8.0	90.0	-4.7	140.6	3.2



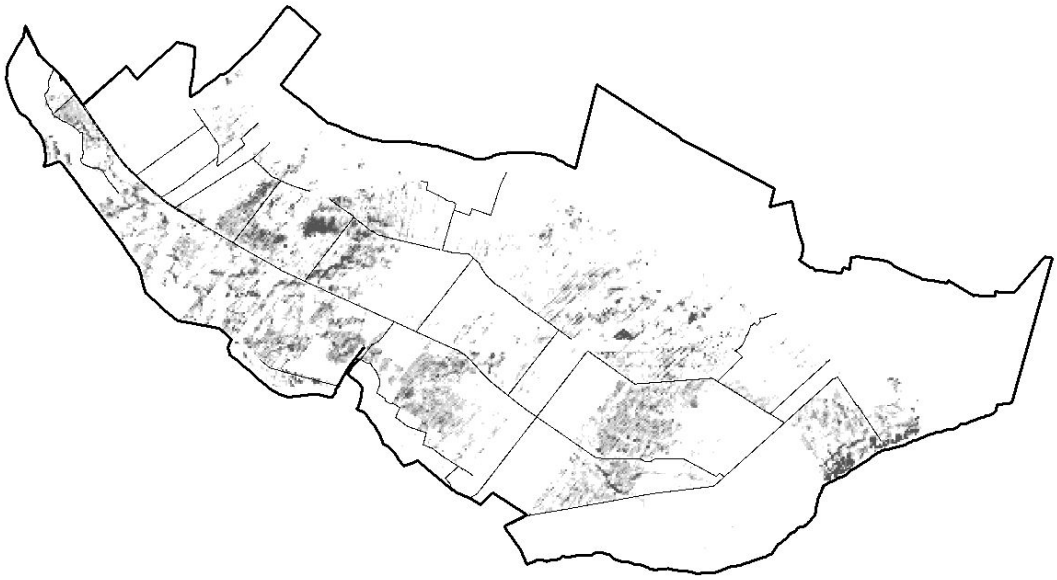
Figuur 54 Verandering van de natschade (berekend met SIMGRO-Waternood), voor de Voorkeursvariant in vergelijking met de AGOR. In de tekst worden de aangegeven beïnvloedingen toegelicht.

6.3.3 Effecten op faalkansen en piekafvoersituaties

Met de in hoofdstuk 2 beschreven methode is onderzoek gedaan naar de effecten van maatregelen op de 'faalkans' van het oppervlaktewatersysteem. In Figuur 55 en 54 zijn voor het huidige klimaat en het maximum-klimaatscenario voor 2050 de ruimtelijke beelden weergegeven van de 'negatieve drooglegging' met een herhalingstijd van 100 jaar. Daarmee wordt bedoeld de potentiële inundatiediepte direct samenhangend met het oppervlaktewaterpeil. Uit die beelden blijkt dat er vrijwel uitsluitend inundatie wordt berekend in de gebieden met de (deel)maatregel 'afvoer stremmen' (Figuur 55). In dat geval gaat het meestal om een nominale inundatie tot 0.10 m. Dat de inundatie beperkt blijft komt doordat aangenomen

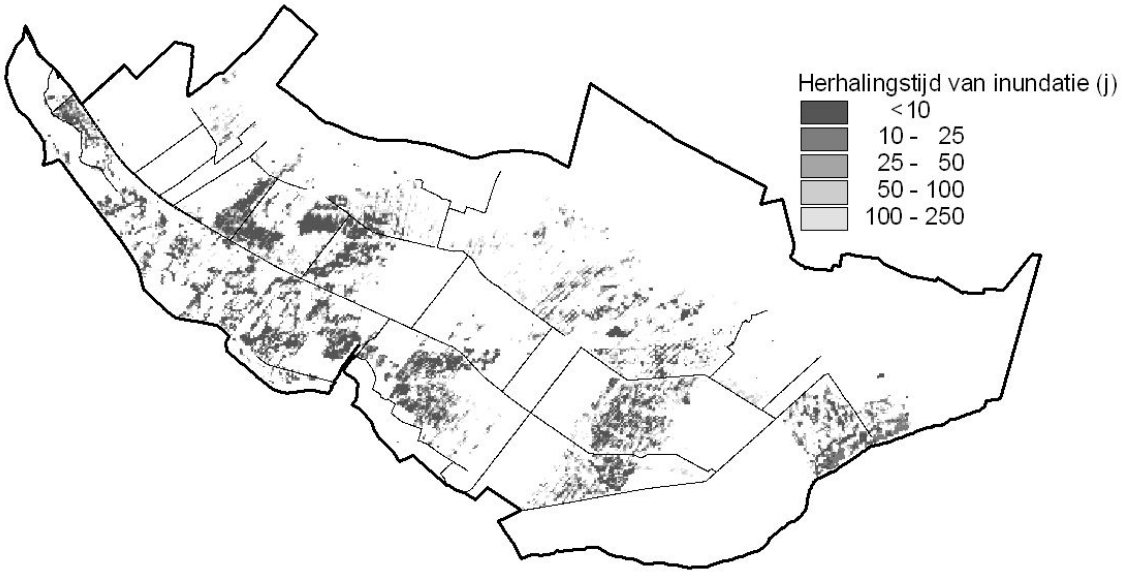


Figuur 55 Inundatiediepte met een herhalingstijd van 100 jaar voor de Voorkeursvariant onder het huidige klimaat

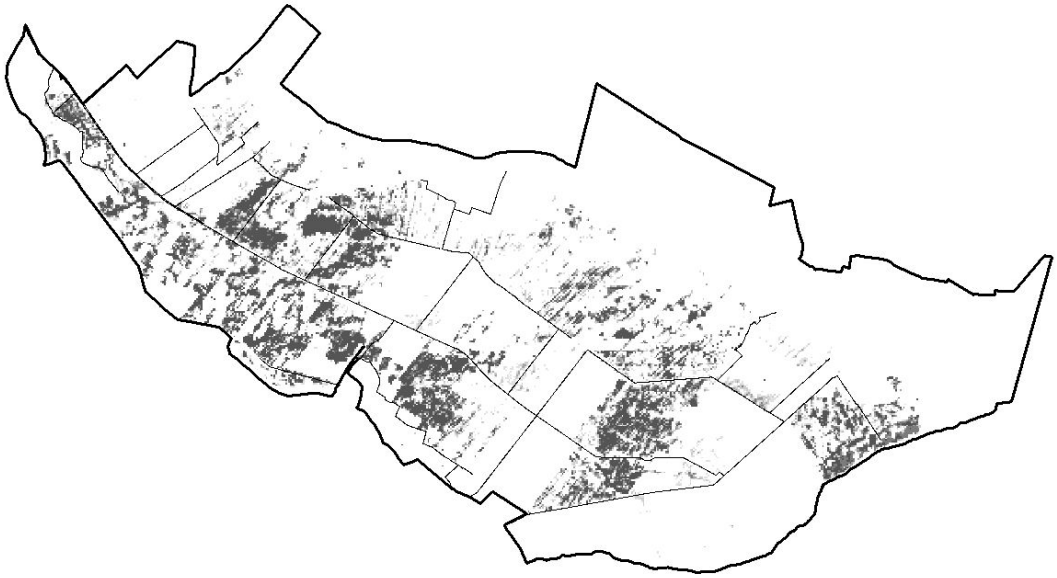


Figuur 56 Inundatiediepte met een herhalingstijd van 100 jaar voor de Voorkeursvariant onder het midden-klimaatscenario voor 2050

wordt dat het water in de haarvaten met zeer lage weerstand kan afstromen als het peil hoger wordt dan het maaiveld bij het uitstroompunt. Dat maaiveld wordt bepaald op het schaalniveau van 'invloedsoppervlakken' die minimaal een diameter van 60 m hebben. Daarbij is als volgt te werk gegaan. Per haarvat is het knooppunt opgezocht met het laagste slootbodemniveau ten opzichte van NAP. In deze verkenning wordt aangenomen dat dit knooppunt als uitstroompunt het meest in aanmerking komt. Het maaiveld van dit knooppunt wordt als maaiveldsdrempel van het uitstroompunt genomen. Dit hoeft niet het laagste knooppuntsmaaiveld binnen een haarvat te zijn. Verder dient men ook te bedenken dat de kaartpresentatie op een resolutie van 25*25 m is; daardoor komen er ook kleinschalige 'kommen' in beeld waar bij de bepaling van de maaiveldsdrempel geen rekening mee is gehouden. In Figuur 57 en 58 is de herhalingstijd van inundatie uitgebeeld, ook wel 'faalkans' genoemd.

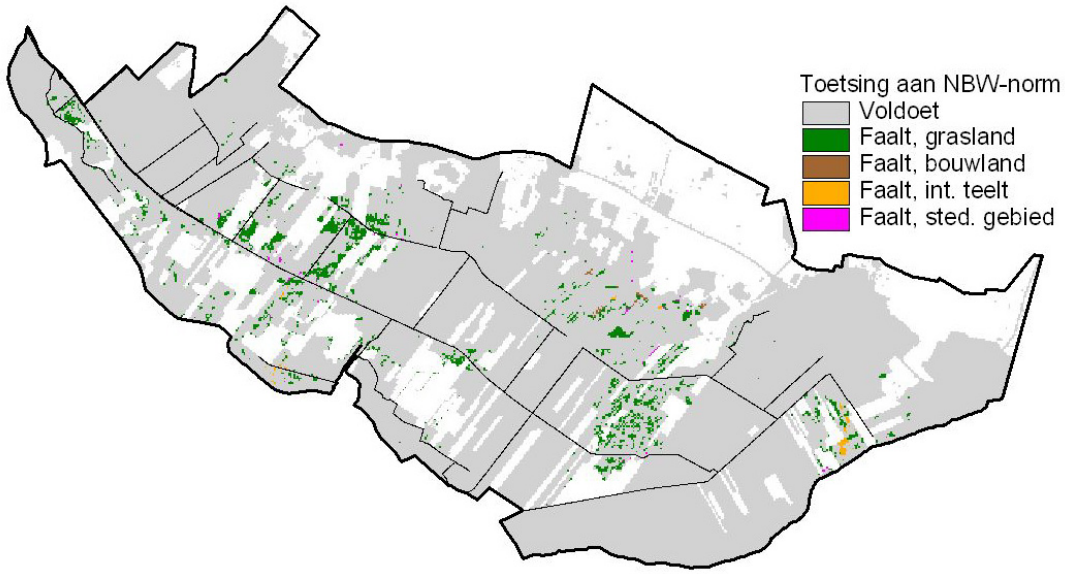


Figuur 57 Faalkanskaart voor de Voorkeursvariant onder het huidige klimaat

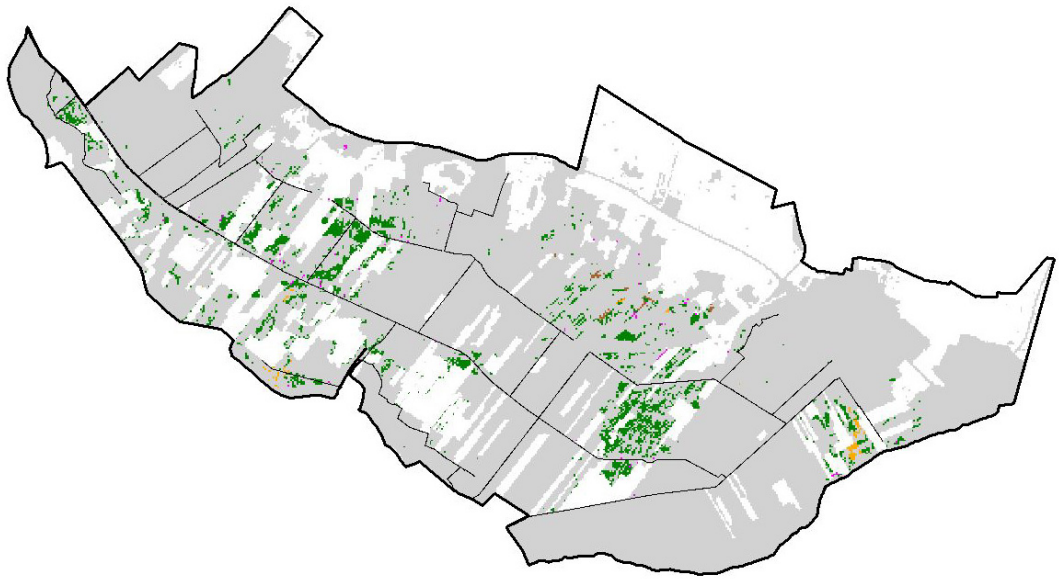


Figuur 58 Faalkanskaart voor de Voorkeursvariant onder het midden- klimaatscenario voor 2050

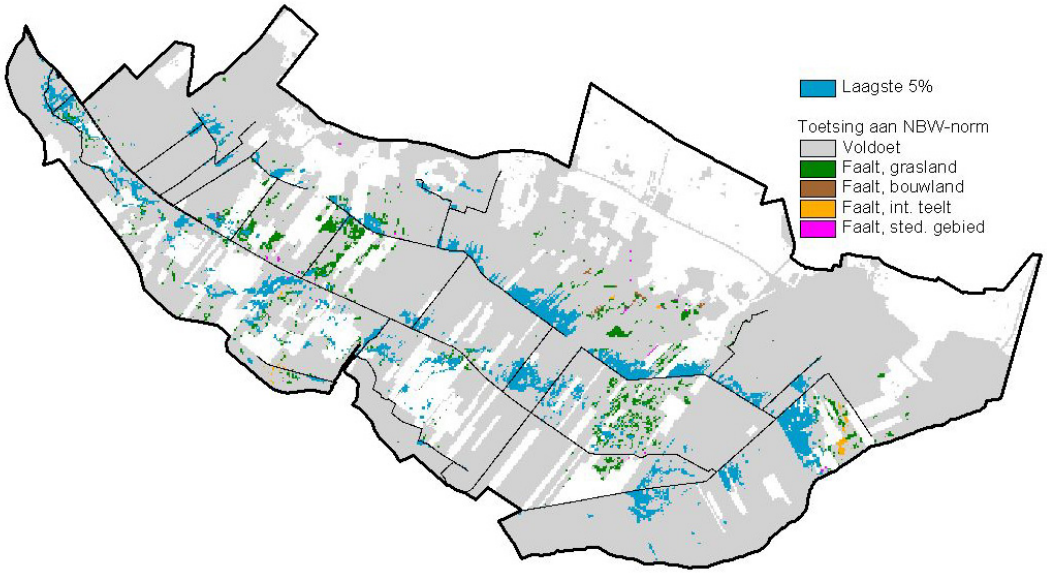
In Figuur 59 en 60 is de toetsing van de faalkans aan de NBW-norm uitgebeeld, onder het huidig klimaat en onder het maximum-klimaatscenario voor 2050. Volgens de simulatie faalt onder het huidige klimaat 4,4 % procent van het areaal (vgl. 0,06% in de AGOR); onder het midden-klimaatscenario wordt dat 6% (vgl 0,12% in de AGOR). In beide gevallen gaat het bij de gebieden die niet voldoen vrijwel altijd om grasland. De belangrijkste uitzondering vormt het gebied met intensieve teelt in het oosten (beneden Amerongen) Het gaat hier echter om een zogenaamd VHR-gebied (zie ook Figuur 50) waar inmiddels geen intensieve teelt meer is. In Figuur 61 en 62 is bij de presentatie van de toetsingsresultaten de laagste 5% van een peilvak afgedekt omdat men daar in de praktijk (meestal) geen rekening mee houdt bij het vaststellen van streefpeilen en stuwstanden.



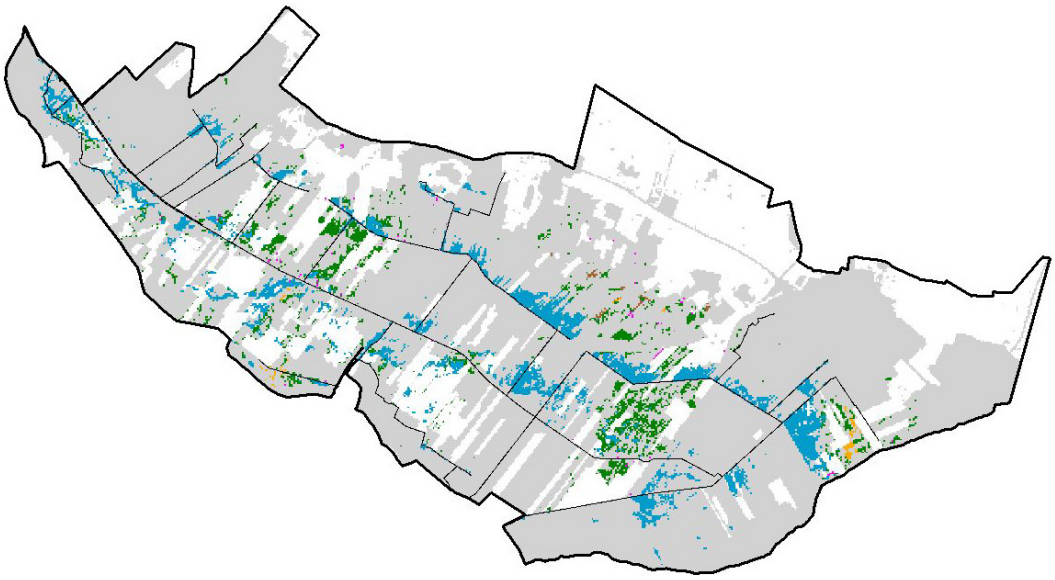
Figuur 59 Toetsing van de Voorkeursvariant aan de NBW-normen onder het huidige klimaat



Figuur 60 Toetsing van de Voorkeursvariant aan de NBW-normen onder het midden-klimaatscenario voor 2050



Figuur 61 Toetsing van de Voorkeursvariant aan de NBW-normen onder het huidige klimaat, met de laagste 5% van een peilvak afgedekt omdat daar in de praktijk geen rekening mee wordt gehouden

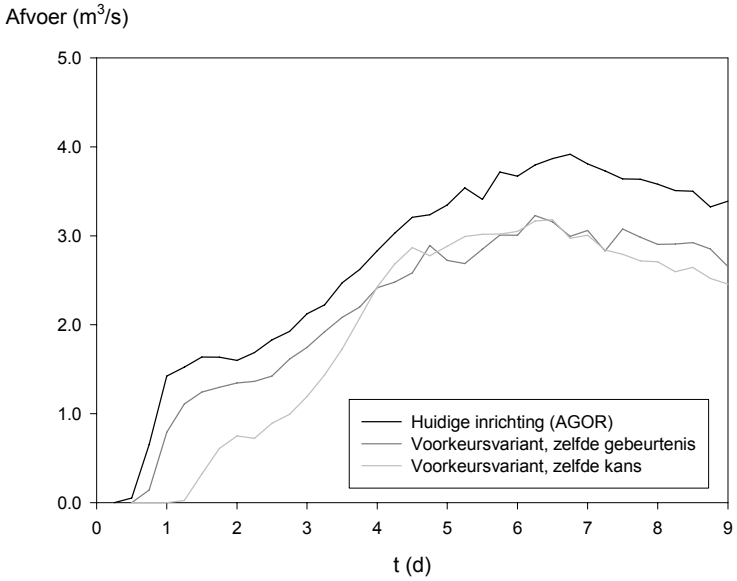


Figuur 62 Toetsing van de Voorkeursvariant aan de NBW-normen onder het midden-klimaatscenario voor 2050, met de laagste 5% van een peilvak afgedekt omdat daar in de praktijk geen rekening mee wordt gehouden

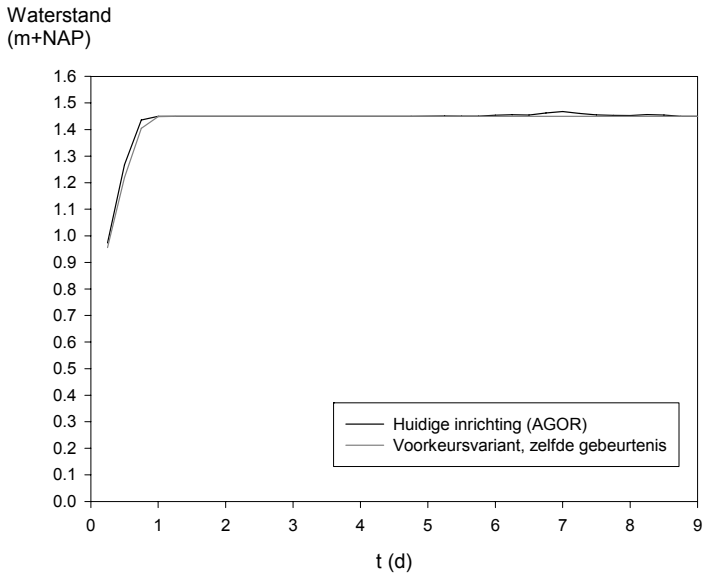
In Figuur 63 is voor het uitstroompunt van het Langbroekerweteringgebied een vergelijking gemaakt tussen de gesimuleerde afvoer in de AGOR en in de Voorkeursvariant, voor de afvoergebeurtenis met een (berekende) herhalingstijd van 100 jaar. Wat betreft de Voorkeursvariant zijn twee grafieken gegeven die vrijwel dezelfde piekafvoer laten zien voor:

- dezelfde gebeurtenis als die in de AGOR met een herhalingstijd van 100 jaar;
- voor de gebeurtenis die in de Voorkeursvariant een herhalingstijd van 100 jaar heeft.

Het gaat hier respectievelijk om een gebeurtenis in de winter met een neerslagsom van 120 mm en een in de zomer met een neerslagsom van 160 mm die tot vrijwel dezelfde piekafvoer leiden. In de zomer komt de afvoer trager op gang als gevolg van het groter neerslagtekort van de uitgangssituatie. De met 'watervasthouden' bereikte piekafvoerreductie van circa 20% blijkt de verwachte toename als gevolg van klimaatverandering (Figuur 21) te compenseren. Daarmee wordt voldaan aan de WB21-doelstelling van 'niet afwentelen'. Wat betreft de peilen (Figuur 64) is er weinig verschil tussen de AGOR en de Voorkeursvariant. Dat komt doordat het gestuwde afvoersituaties betreft, waarbij het peil zelf kennelijk niet gevoelig is voor de afvoer.



Figuur 63 Afvoerverloop voor de gebeurtenis met een herhalingstijd van 100 jaar bij het uitstroompunt van de Langbroekerwetering, in de AGOR en in de Voorkeursvariant, onder het huidige klimaat



Figuur 64 Peilrverloop voor de gebeurtenis met een herhalingstijd van 100 jaar bij het uitstroompunt van de Langbroekerwetering, in de AGOR en in de Voorkeursvariant

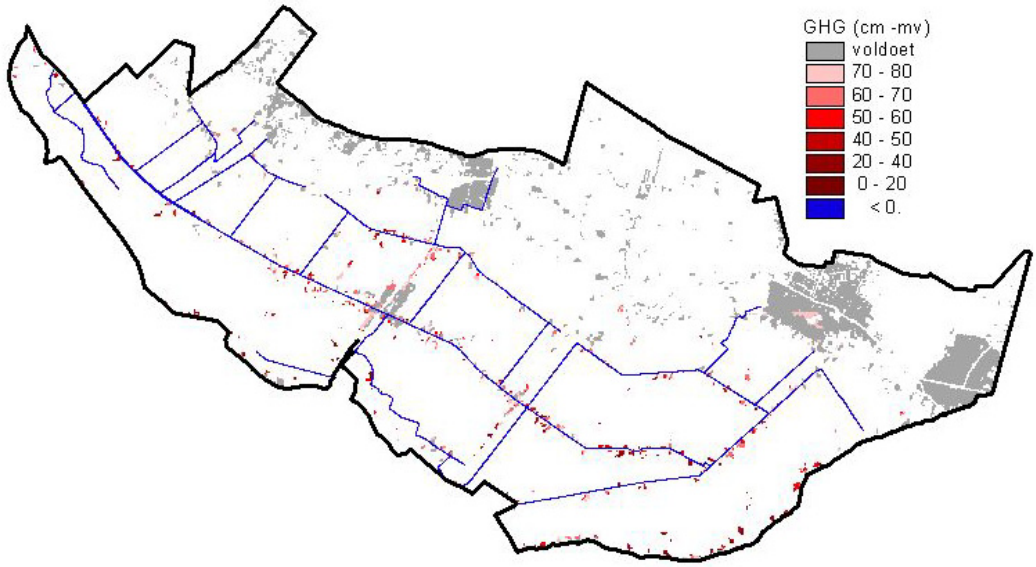
Het in de voorkeursvariant vasthouden van water in de haarvaten heeft tot gevolg dat de zogenaamde 'wateropgave' toeneemt, zoals blijkt uit Tabel 21. De 'wateropgave' wordt berekend aan de hand van de gebieden die 'falen'; voor die gebieden wordt bij de geldende herhalingstijd van de normstelling bepaald hoeveel water op het maaiveld staat. Aangezien er geen norm is gesteld voor natuurgebieden vallen die hier buiten; het water dat in die gebieden op het maaiveld staat telt dus niet mee. Deze getallen moet men zien in verhouding tot de piekdagafvoer, die in de Langbroekerwetering in de orde van 4 m^3/s is bij een herhalingstijd van 100 jaar. Het effect van het vasthouden van water is in dit geval een reductie van de piekafvoer van de Langbroekerwetering met 1 m^3/s (zie Figuur 63), overeenkomend met circa 85000 m^3 op de piekdag. De verhouding tussen de extra wateropgave en de bereikte reductie van de afvoer op de piekdag is dus zeker 4:1. Daarbij moet worden bedacht dat het vasthouden ook een afvoervermindering geeft op de dagen direct voor en direct na de piekdag. Houdt men daar rekening mee dan wordt de verhouding tussen extra wateropgave en bereikte piekreductie circa 1:1. Dit duidt erop dat het stremmen van de afvoer vooral effectief is wanneer er water op het maaiveld wordt vastgehouden, en dat in relatief natte gebieden zoals de Langbroekerwetering het effect van het vasthouden van grondwaterafvoer slechts beperkt is.

Tabel 21 Wateropgave (m^3) in de AGOR en in de voorkeursvariant, voor drie klimaatscenario's

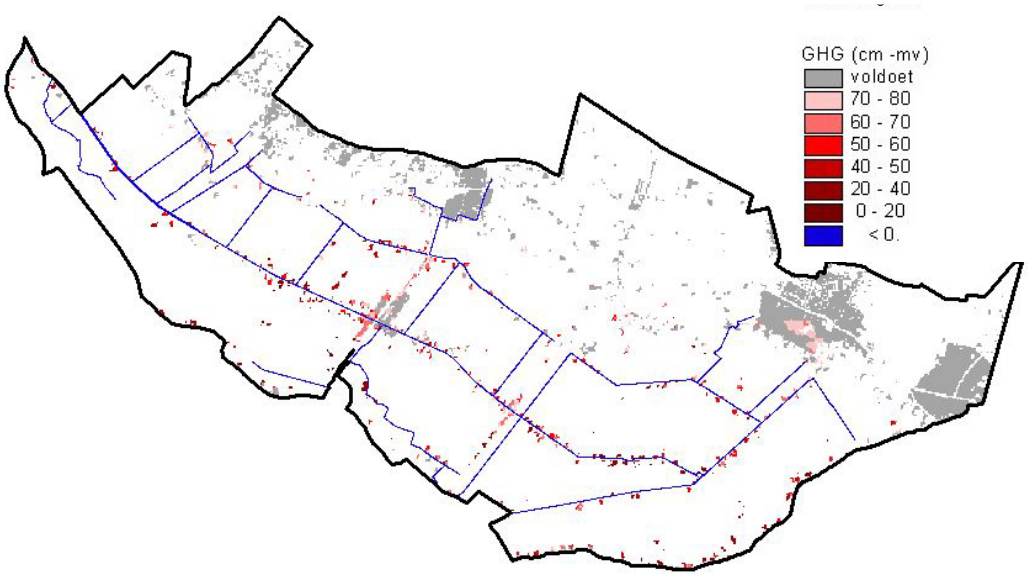
Klimaatscenario	AGOR	Voorkeursvariant
huidig	2269	156844
midden	4800	225931
maximum	15288	370563

6.3.4 Effecten op bebouwd gebied

Aan de hand van de GHG is een toetsing uitgevoerd voor de situatie in bebouwd gebied. Daarbij is als criterium gehanteerd een gewenste diepte van minimaal 80 cm. Indien de GHG voor de AGOR daaraan wordt getoetst dan blijkt (Figuur 65) met name dat locaties met verspreide bebouwing in het landelijke gebied daar vaak niet aan te voldoen. In de Voorkeursvariant blijken (Figuur 66) ook een aantal randzones van bebouwde kernen niet meer aan het criterium te voldoen, zij het in lichte mate.



Figuur 65 Toetsing van de GHG in bebouwd gebied, voor de AGOR



Figuur 66 Toetsing van de GHG in bebouwd gebied, voor de Voorkeursvariant

7 Slotbeschouwing

In het Langbroekerweteringgebied is de vraag aan de orde hoe het Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime (GGOR) er uit zo moeten komen te zien. Deze studie heeft tot doel gehad die discussie met modelberekeningen te ondersteunen.

Om te zien in hoeverre het afwateringssysteem toereikend is in de huidige situatie en hoe het zit met 'klimaatbestendigheid' is een faalkansonderzoek gedaan. Daartoe is de stochastenmethode ingezet. Het blijkt dat het areaal waar niet aan de normen voldaan wordt snel toe zal nemen als gevolg van klimaatverandering. Het is nog maar de vraag of dat bezwaarlijk is, want door water in het gebied vast te houden wordt voldaan aan het principe van 'niet afwentelen'.

Een sleutelelement van de GGOR zal zijn de aanleg van circa 250 ha 'natte' natuur en nog eens 150 ha 'droge' natuur. In het onderzoek is een methode ontwikkeld en toegepast om de natte natuur op gunstige locaties te kiezen. Met een 'schotten-vast' optimaliseringsmodel is vervolgens gezocht naar een inrichting die zowel de natuurwaarde ('doelrealisatie') dient als de WB21 doelstelling, namelijk het beperken van de hoogwaterafvoer.

Ter verkenning van de inrichting en beheer van het (overgebleven) landbouwgebied is een 'schotten-los' optimaliseringsmodel opgezet en zijn een viertal varianten aangemaakt: vanuit opgegeven randvoorwaarden aan de doelstellingen 'natuur' en 'hoogwaterafvoer' genereert het systeem een ruimtelijk patroon van maatregelen dat tegen zo laag mogelijke kosten daaraan voldoet. De ruimtelijke patronen van maatregelen zijn vervolgens met het SIMGRO-Waternoodinstrumentarium getoetst. Daaruit is gebleken dat het vereenvoudigde optimaliseringsmodel voldoende nauwkeurig is om op een zinvolle wijze de beleidsvorming te ondersteunen.

Met het optimaliseringsmodel is een verkenning van de 'hoekpunten van het speelveld' uitgevoerd. Vervolgens is door de Projectgroep Langbroekerwetering een viertal varianten geformuleerd om een verdere verkenning uit te voeren. Hierin is rekening gehouden met ontwikkelingen die reeds gaande zijn in het gebied, zoals het verwerven van nieuwe natuur. Ten slotte is op basis van een reeks wensen en overwegingen van praktische aard een 'Voorkeursvariant' geformuleerd. Die variant is vervolgens met SIMGRO-Waternood geëvalueerd. Vervolgens is ten slotte een faalkansanalyse uitgevoerd en zijn de resultaten vergeleken met die voor de AGOR. Daar bleek onder meer uit dat de met 'watervasthouden' bereikte piekafvoerreductie van circa 20% de verwachte toename als gevolg van klimaatverandering kan compenseren. Daarmee wordt voldaan aan de WB21-doelstelling van 'niet afwentelen'.

Literatuur

Bakel, P.J.T. van, P.E.V. van Walsum, M. Groenendijk en E.P. Querner. 2003. *Waterberging en verdrogingsbestrijding, Een nadere analyse van de mogelijkheden en beperkingen aan de hand van modelberekeningen in 2 stroomgebieden.* Alterra-rapport 640, Wageningen.

Cirkel, D,G, E.P. Querner, P.J.J.F. Torfs en H.A.J. van Lanen, 2003. *Effecten van verdrogingbestrijdende maatregelen en klimaatverandering op extreem hoge afvoeren, Een modelstudie met SIMGRO voor het Stortelersbeekgebied.* Alterra rapport 844, Wageningen.

De Graaff, B. en R. Versteeg, 2000. *Wateroverlast zo goed als zeker.* H2O nr. 21 (2000), pag 28-30.

Ek, R.van, F. Klijn, J. Runhaar, R. Stuurman, W. Tamis en J. Reckman, 1997. *Gewenste grondwatersituatie Noord-Brabant. Deelrapport 1: Methodeontwikkeling voor het bepalen van de optimale sectorale grondwatersituatie voor de natuur.* RIZA, Lelystad.

Grontmij, 2002. *Wateropgave deelstroomgebiedsvisie Amstelland; Onderbouwing van de knelpunten en de wateropgave voor Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.* Grontmij, De Bilt.

Hermans, A.G.M., P.E.V. van Walsum, J. Runhaar en P.J.T. van Bakel, 2004. *Duurzaam waterbeheer Langbroekerwetering, Fase 1:Modelbouw, calibratie en bepaling van het Actueel Grond- en Oppervlaktewaterregime.* Alterra-rapport 914, Wageningen.

Jansen, P.C., F. De Vries & J. Runhaar, 1998a. *Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden. Toelichting bij de aanpassingen ten behoeve van de provincie Gelderland, Waterschap Rijn en IJssel en Waterschap Vallei en Eem.* Interne mededeling 531. DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Jansen, P.C., F. De Vries & J. Runhaar, 1998b. *Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden. Toelichting bij de aanpassingen ten behoeve van het Waterschap Wolt en Wieden en Waterschap Meppelerdiep.* Interne mededeling 536. DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Jansen, P.C., F. de Vries en J. Runhaar, 1999. *Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden. Het oorspronkelijke grondwaterregime ontleend aan bodemkenmerken.* Alterra rapport 694, Wageningen

Projectgroep GGOS en classificatie, 1999. *Gewenste Grond- en Oppervlaktewater-Situatie voor Bos- en Natuurgebieden.* Waterschap Reest en Wieden, Meppel.

Stiboka, 1968-1979. *Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000.* Diverse kaartbladen. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

STOWA/RIZA, 2002. *Instrumentarium Waternood. Waternood deelrapport 02.* Rapport 2002-35, STOWA, Utrecht.

Hermans, A.G.M., P.J.T. van Bakel, P.E.V. van Walsum en J. Runhaar, 2004. Integratie Waternood met modellering van de regionale hydrologie; H2O nr. 7 (2004), pag. 25-29.

KNMI, 2003. De toestand van het klimaat in Nederland 2003. KNMI, De Bilt.

Versteeg, R en B. Kolen, 2003. Neerslag. Notitie in opdracht van HDSR, 6 september 2003. HKV, Lelystad.

Tilma, M., P.E.V. van Walsum, P.J.T. van Bakel, A.G.M. Hermans, L.C.P.M. Stuyt. 2004. Water vasthouden in zandgbieden; de effecten en werking van de stuwende duiker. Alterra-rapport 923, Wageningen.

Van Walsum, P.E.V., Verdonschot, P.F.M. en J. Runhaar. 2001. *Effects of climate and land-use change on lowland stream ecolsystems*. Alterra-Report 523, Alterra, Wageningen. (te downloaden vanaf: www.waterwijs.nl)

Van Walsum, P.E.V., Helming, J.F.M., Schouwenberg, E.P.A.G., Stuyt, L.C.P.M., Groenendijk, P., de Bont, C.J.A.M., Vereijken, P.H., Kwakernaak, C., van Bakel, P.J.T., van Staalduinen, L.C. en K.W. Ypma., 2002. *Waterwijs; Plannen met water op regionale schaal*. Alterra-rapport 433, Wageningen.

Van Walsum P.E.V., A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, P.E. Dik, P. Groenendijk, E.P. Querner en M.F.R. Smit, 2004. SIMGRO 5.0; Theory and model implementation. Alterra Report 913.1, Wageningen.

Wendt, T., 1998. *Water Rijk Utrecht; Effecten van toekomstscenario's op het grondwater in Utrecht*. Houten.

Aanhangsel 1 Methode voor bepaling Referentiegrondwaterstand

1.1 De grondwaterreferentie

Door het Centrum voor Milieukunde Leiden en het TNO-Instituut voor Grondwater en Geo-energie is voor de provincie Noord-Brabant een methode ontwikkeld waarmee de natuurlijke referentiesituatie bepaald kan worden op basis van abiotische kenmerken als bodem(genese), maaiveldhoogte en positie in het watersysteem (Van Ek et al., 1997). Uitgangspunt is dat de veelal fossiele hydromorfe bodemkenmerken een goed beeld geven van de vroegere hydrologische situatie. Met name in pleistocene gebieden lijkt dat het geval te zijn. In de volgende paragrafen wordt uitgelegd hoe deze methode is toegepast om uit de bodemkaart en de hoogtekaart de referentiegrondwaterstand af te leiden.

1.2 De 'Brabantse methode'

Bij de 'Brabantse' methode zijn de gronden hydrologisch gekarakteriseerd op basis van bodemkundige literatuur en deskundigenoordeel (Van Ek et al., 1997). Uitgegaan is van een 'natuurlijke' situatie waarin pedogenese (bodemvorming) en hydrologie met elkaar in evenwicht verkeren. Er is een toedeling gemaakt van grondwatertrappen aan bodems, waarbij de hydromorfe kenmerken een belangrijk hulpmiddel vormden. Zo is er voorbeeld van uitgegaan dat in een 'natuurlijke situatie' 80% van de vlakvaaggronden (pZn) een grondwatertrap II en 20% een grondwatertrap III heeft. De grondwaterstand of het grondwaterstandsverloop dat zo aan een bodemtype gekoppeld is wordt aangeduid als referentiegrondwaterstand.

In de praktijk wordt meestal gebruik gemaakt van grondwaterstanden en niet van een verdeling over grondwatertrappen. Daarom zijn de grondwatertrappen omgezet naar gemiddelde grondwaterstanden (GHG, GVG, GLG) in termen van percentielen. De standen worden als volgt berekend:

- Voor de GHG zijn 7 grondwaterklassen onderscheiden binnen de range van 15 cm boven maaiveld tot 190 cm beneden maaiveld. Van iedere grondwatertrap is de fractie vastgesteld waarvan verondersteld wordt dat die binnen de klasse valt. Zo valt een Gt I voor 0.75 in de natste klasse en 0.25 in de op één na natste klasse, terwijl Gt VII volledig in de droogste klasse valt (tabel A1.1).
- Voor de GLG worden op analoge wijze 5 grondwaterklassen onderscheiden (tabel A1.2).
- Voor de GVG, die het hele traject van nat tot droog beslaat, worden 12 klassen onderscheiden.

Tabel A1.1 *GHG fracties* van gt's over grondwaterklassen

grw.klasse	I	II	III	IV	V	VI	VII
+15 - 0 cm	0.75	0	0	0	0	0	0
0 – 5	0.25	0.33	0	0	0	0	0
5 – 10	0	0.33	0	0	0	0	0
10 – 15	0	0.34	0.13	0	0.13	0	0
15 – 40	0	0	0.87	0	0.87	0	0
40 – 80	0	0	0	1.00	0	1.00	0
80 – 190	0	0	0	0	0	0	100

Tabel A1.2 *GLG fracties* van gt's over grondwaterklassen

grw.klasse	I	II	III	IV	V	VI	VII
5 – 10	1.00	0	0	0	0	0	0
10 – 15	0	1.00	0	0	0	0	0
15 – 40	0	0	1.00	1.00	0	0	0
40 – 80	0	0	0	0	1.00	1.00	0
80 – 190	0	0	0	0	0	0	1.00

Vervolgens worden van een bodemeenheid de toegedeelde percentages over de grondwatertrappen vermenigvuldigd met de fracties van de grondwaterklassen van de betreffende grondwatertrap die daarna per klasse als gewichtspercentage wordt gesommeerd. Voor de GHG van de vlakvaaggrond, waarvan 80 % aan Gt II en 20 % aan Gt III is toegedeeld is dat uitgewerkt in tabel A1.3.

Tabel A1.3 GHG gewichtpercentages over grondwaterklassen van een vlakvaaggrond

grw.klasse	I	II	III	IV	V	VI	VII	totaal
+15-0 cm	0	0	0	0	0	0	0	0
0-5	0	26.4	0	0	0	0	0	26.4
5-10	0	26.4	0	0	0	0	0	26.4
10-15	0	27.2	2.6	0	0	0	0	29.8
15-40	0	0	17.4	0	0	0	0	17.4
40-80	0	0	0	0	0	0	0	0
80-190	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal	0	80	20	0	0	0	0	100

Uit de gesommeerde gewichtspercentages kunnen door interpolatie binnen de grondwaterklassen de gewenste percentielen worden berekend, in dit geval het 10, 30, 50, 70 en 90 percentiel. Op vergelijkbare wijze worden de percentielen voor de GVG en GLG berekend. De resultaten staan in tabel A1.4. Daarbij staat GHG_{10} voor de 10-percentiel, ofwel de waarde waar boven 10 % van de waarnemingen ligt. De GHG_{50} komt overeen met de mediane waarde van de GHG.

Tabel A1.4 Percentielen van grondwaterstanden van GHG, GVG en GLG van een vlakvaaggrond

GHG	GVG	GLG
GHG_{10} 2	GVG_{10} 13	GLG_{10} 54
GHG_{30} 6	GVG_{30} 18	GLG_{30} 61
GHG_{50} 9	GVG_{50} 23	GLG_{50} 69
GHG_{70} 13	GVG_{70} 27	GLG_{70} 76
GHG_{90} 26	GVG_{90} 42	GLG_{90} 100

In Noord-Brabant zijn in twee proefgebieden bodemkenmerken gebruikt om de grondwaterstand en kwel in een referentiesituatie (ca. 1850-1950) te reconstrueren (Van Ek et al., 1997). De percentielgegevens cq. grondwaterkarakteristieken zijn in combinatie met gegevens over de maaiveldshoogte (1 : 10 000 topografische kaart) gebruikt. Met behulp van een GIS-bewerking zijn grondwatervlakken getrokken. Uit de toetsing van de resultaten in de proefgebieden bleek dat de methode voldoende betrouwbaar is voor toepassing op provinciale schaal.

Met de Brabantse methode is door DLO-Staring Centrum de referentiegrondwaterstand bepaald voor de provincie Gelderland en een aantal Waterschappen (Jansen et al., 1998 en 1998b). Voor ontbrekende bodemeenheden zijn op grond van de Brabantse lijst en ervaringen van veldbodemkundigen grondwaterkarakteristieken opgesteld. De resultaten zijn getoetst aan de grondwaterstandgegevens uit in het begin van de jaren vijftig die in het kader van het COLN-onderzoek in de landbouwgebieden zijn verzameld (Reuter en Kouwe, 1958). Van enkele bodemeenheden zijn grondwaterkarakteristieken wat aangepast. In een samenvattend rapport is verslag gedaan van de resultaten van de verschillende onderzoeken, samen met de bodemeenheden die wel op de 1 : 50 000 bodemkaart voorkomen nog niet waren toegedeeld (Jansen et al., 1999).

1.3 De bodemkaart en de hoogtekaart

Voor het vastellen van de referentiegrondwaterstand wordt gebruik gemaakt van de bodemkaart en van de hoogtekaart. Voor heel Nederland is de bodemkaart 1 : 50 000 beschikbaar (Stiboka, 1968-1979). Daarnaast is de AHN van beschikbaar voor grodcelgroottes van 5x5m. De grootte is aangehouden voor de verdere GIS-bewerkingen.

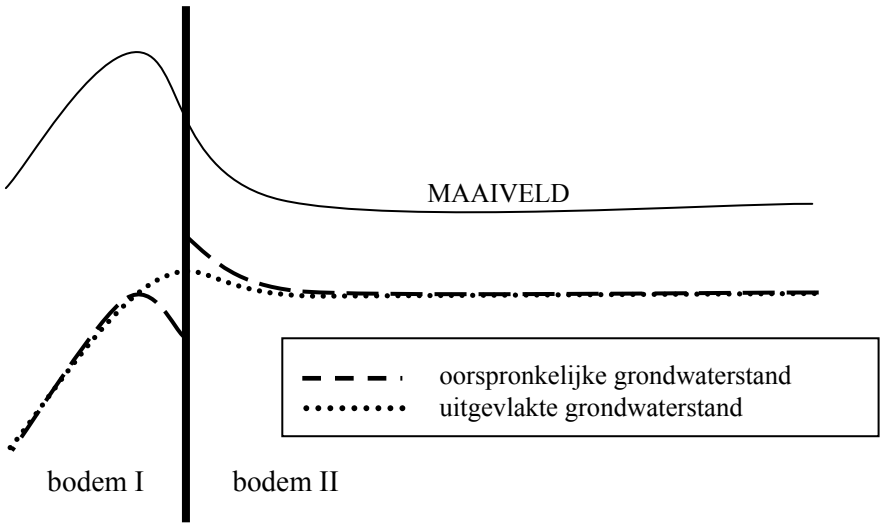
Zowel bodemkaart als hoogtekaart bevatten onnatuurlijke elementen die niet geschikt zijn voor het vaststellen van de referentiegrondwaterstand. De bodemkaart is buiten de bebouwde gebieden op de meeste plaatsen gebiedsdekkend ingekleurd. Op veel plekken komt het aangegeven bodemtype echter niet (meer) voor, bijvoorbeeld daar waar wegen, waterlopen en boerenerven liggen. Omdat deze plekken door vergravingen zijn ontstaan is ook de oorspronkelijke maaiveldshoogte veranderd en zou de referentiegrond-waterstand daar met voorgestelde methode onjuist worden vastgesteld. Omdat de afwijkende maaiveldshoogte invloed heeft op de gemiddelde maaiveldshoogte van de hele gridcel waarin een dergelijk landschapselement ligt wordt in feite voor het hele oppervlak van de gridcel, en na vereffening

ook voor de omgeving, een onjuiste referentiegrondwaterstand berekend. Deze onzuiverheid is met een aantal GIS-bewerkingen weggefilterd.

1.4 Vaststellen van de referentiegrondwaterstand

Door de scherpe overgang tussen de bodemvlakken op de bodemkaart kunnen de overgangen tussen de vlakken met verschillende referentiegrondwaterstanden groot zijn. Daarnaast wordt geen rekening gehouden met differentiatie binnen het vlak als gevolg van oneffenheden in het maaiveldverloop (figuur A1.1).

Om een meer realistisch beeld te krijgen wordt het grondwaterstandsverloop uitgevlakt. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van een door het Waterschap Reest en Wieden ontwikkelde GIS-bewerking van gridbestanden van de maaiveldshoogte en de referentiegrondwaterstanden (Projectgroep GGOS en classificatie, 1999).



Figuur A1.1 Uitvlakking van de referentiegrondwaterstand

Als referentiegrondwaterstand is voor de mediane stand (50-percentiel) gekozen. Bij de eerste bewerking worden de referentiekaarten die uit de bodemkaart zijn afgeleid vergrid. Voor ieder grid wordt de referentiegrondwaterstand van de maaiveldhoogte afgetrokken en zo de stand ten opzichte van NAP berekend. Vervolgens wordt binnen het GIS de focal mean berekend. Bij die bewerking wordt om elke gridcel een cirkel met een bepaalde zoekstraal getrokken en wordt van de gridcellen die binnen de cirkel liggen de gemiddelde grondwaterstand berekend. De gemiddelde stand wordt aan de centrale gridcel toegekend. Vanwege de grootschalige en geleidelijke gradiënten in hydrologie en maaiveld in het onderzoeksgebied zou een kleine zoekstraal, zoals die eerder gebruikt is in delen van pleistoceen-Nederland (Jansen, et al. 1999), leiden tot te abrupte opvergangen en een onwaarschijnlijk grondwaterstandsverloop. Daarom is de zoekstraal aangepast. Met gridcelgroottes van 5 m blijkt

dat voor de GHG een zoekstraal van 175 m bet beste voldoet, voor de GVG een zoekstral van 200 m en voor de GLG van 200 m. Een neerschalingsmethode leidt waarschijnlijk tot nauwkeuriger uitkomsten, maar door het ontbreken van middelen is daar is nog geen onderzoek naar verricht.

Er wordt gebruik gemaakt van een gewogen gemiddelde, waarbij aan de bodemtypen met een grote spreiding in de karakteristieke grondwaterstanden een lager gewicht is toegekend. De spreiding wordt gedefinieerd als het verschil tussen de hoogst mogelijke grondwaterstand (90 percentiel) en de laagst mogelijke grondwaterstand (10 percentiel). Aan het kleinste verschil wordt een hoog gewicht toegekend (waarde 9) en aan het grootse verschil een laag gewicht (waarde 1). Aan tussenliggende verschillen wordt een evenredige waarde toegekend. Verder krijgen de grondwateronafhankelijke gronden een waarde 0.

Bij de berekening van de uitvlakking wordt de NAP-hoogte van de grondwaterstand in de gridcellen binnen de zoekcirkel vermenigvuldigd met de gewichtsfactor. De som van de gridcellendie binnen de zoekstraal vallen wordt gedeeld door de som van de gewichtsfactoren en levert een gewogen gemiddelde op voor de middelste gridcel. De berekening van de uitvlakking zorgt ervoor dat de bij een klein verschil tussen hoogste en laagste stand de aanpassing het kleinst is en dat de aanpassing toeneemt naarmate het verschil groter wordt.

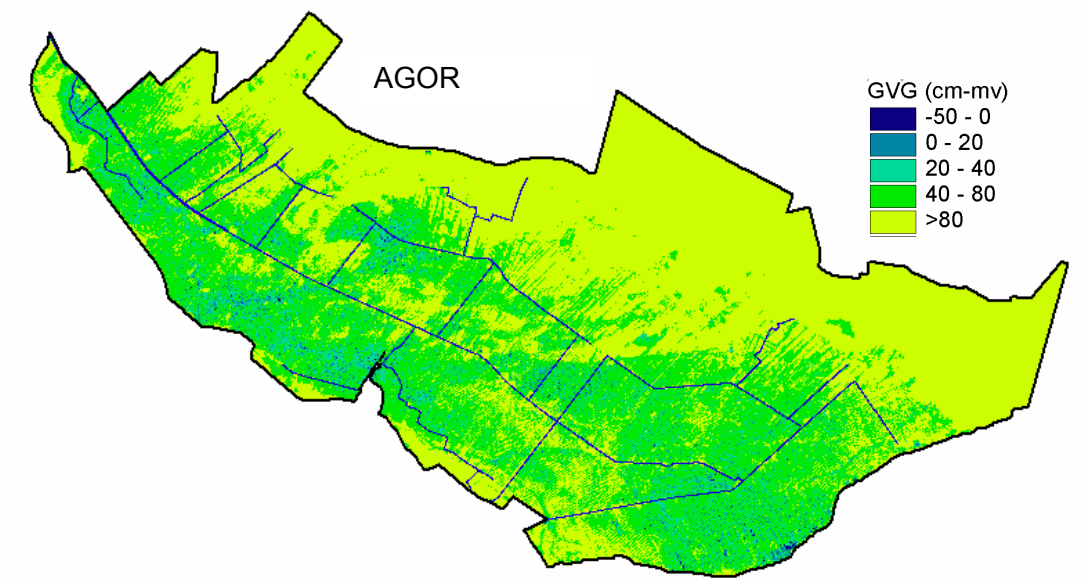
1.5 Discussie

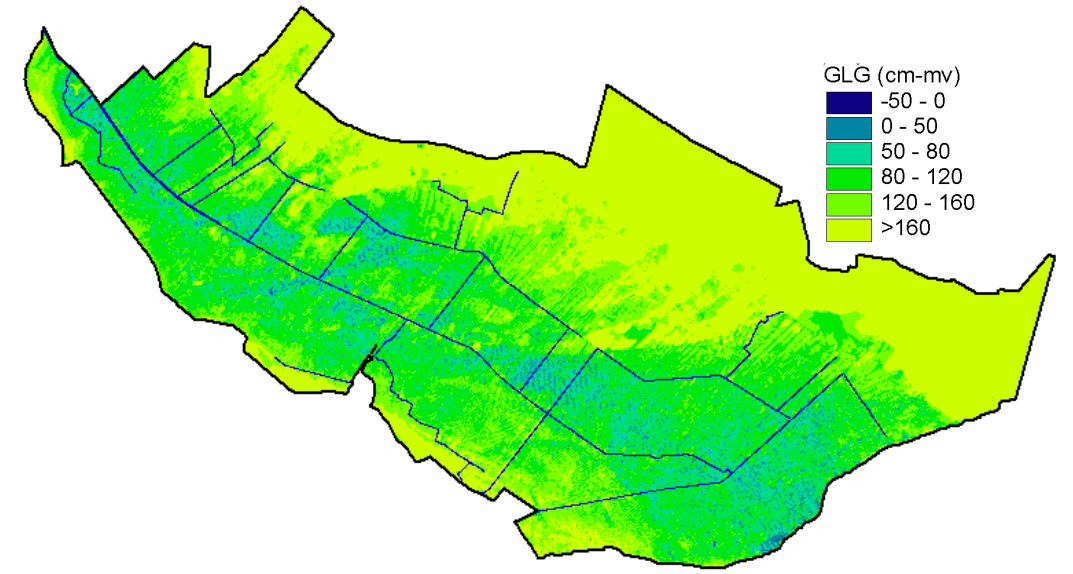
De methode waarmee de referentiegrondwaterstand is afgeleid is minder betrouwbaar in holocene gebieden en in pleistocene gebieden met diepe grondwaterstanden. Beide gebiedstypen zijn ruim vertegenwoordigd in het studiegebied. Veel gronden in holoceen Nederland zijn ooit onder extreem natte omstandigheden afgezet (kleigronden) of ontstaan (veengronden). En momenteel liggen ze veelal in poldergebieden met een beheersbaar waterpeil. Bij de toedeling van grondwatertrappen aan deze bodemeenheden is een schatting gemaakt van de omstandigheden van rond de vorige eeuwwisseling, dus ruim voor de grootschalige ingrepen in de waterhuishouding.

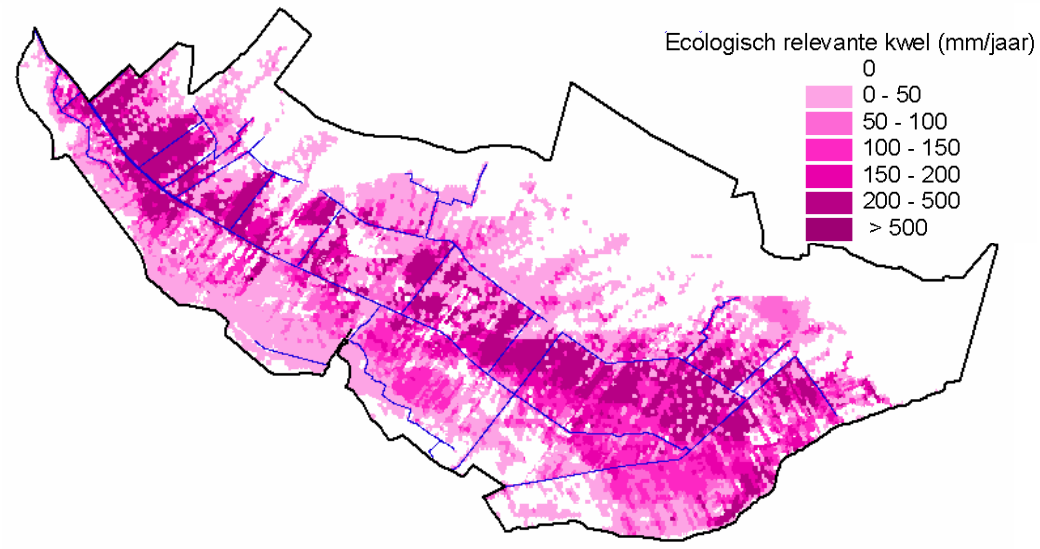
Voor bodemtypen met diepe grondwaterstanden doet zich het probleem voor dat de referentiegrondwaterstand sterk afhankelijk is van de landschappelijke ligging. Zo wordt onder andere voor alle enkeergronden die onderaan de Utrechtse heuvelrug liggen uitgegaan van eenzelfde grondwaterstand. Op de overgang naar de 'lage' gronden zal de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld echter hoger zijn dan aan de bovenrand van de percelen. Door de vereffening wordt hier in zekere mate aan tegemoet gekomen. De diepe waterstanden zijn in de kaartbeelden opgenomen in de klasse > 150 cm. Deze klasse is voor natte natuurdoeltypen niet interessant.

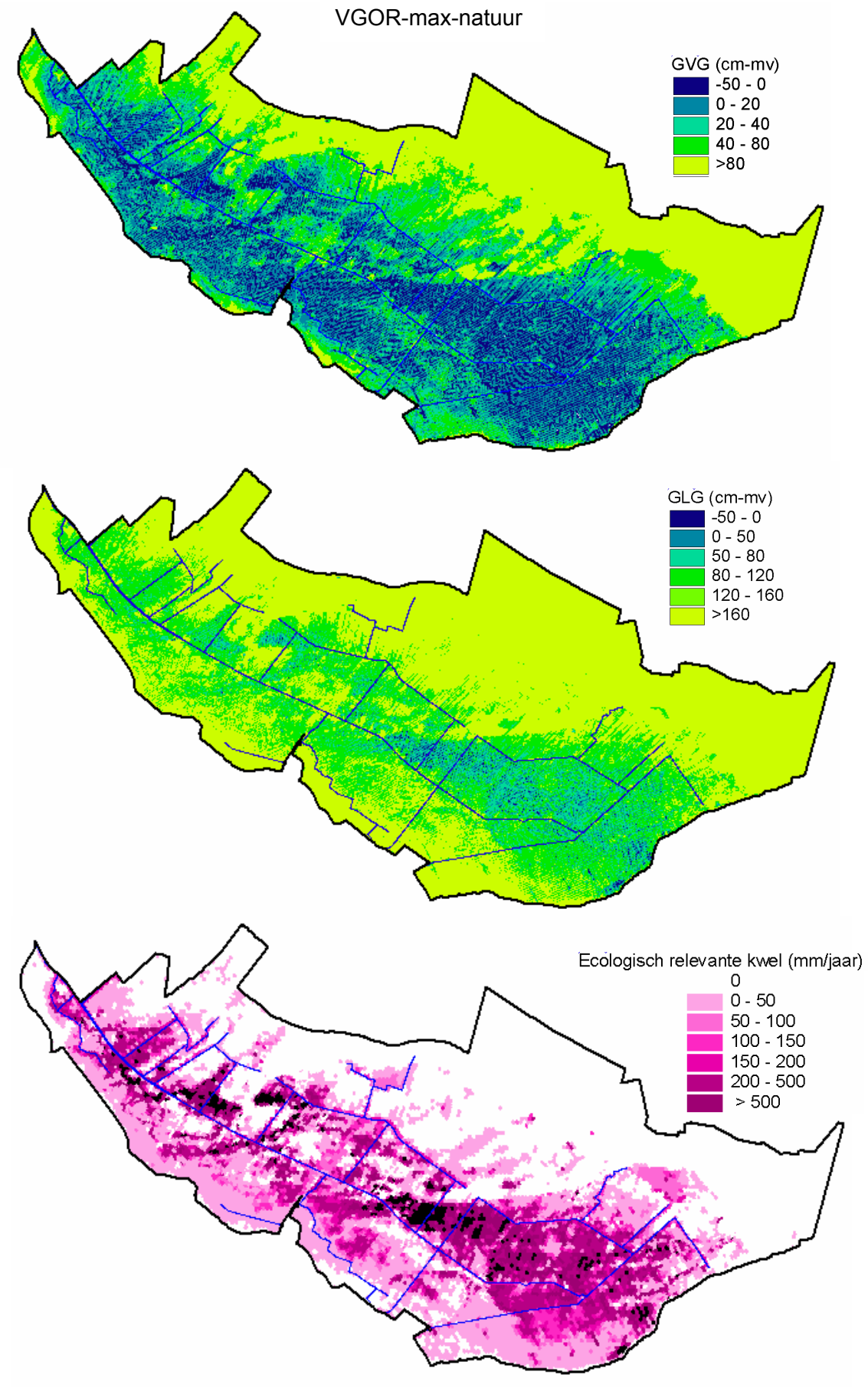
Voor de berekende kaarten wordt verwezen naar Aanhangsel 2 en voor een verdere toelichting daarop naar par. 2.3.

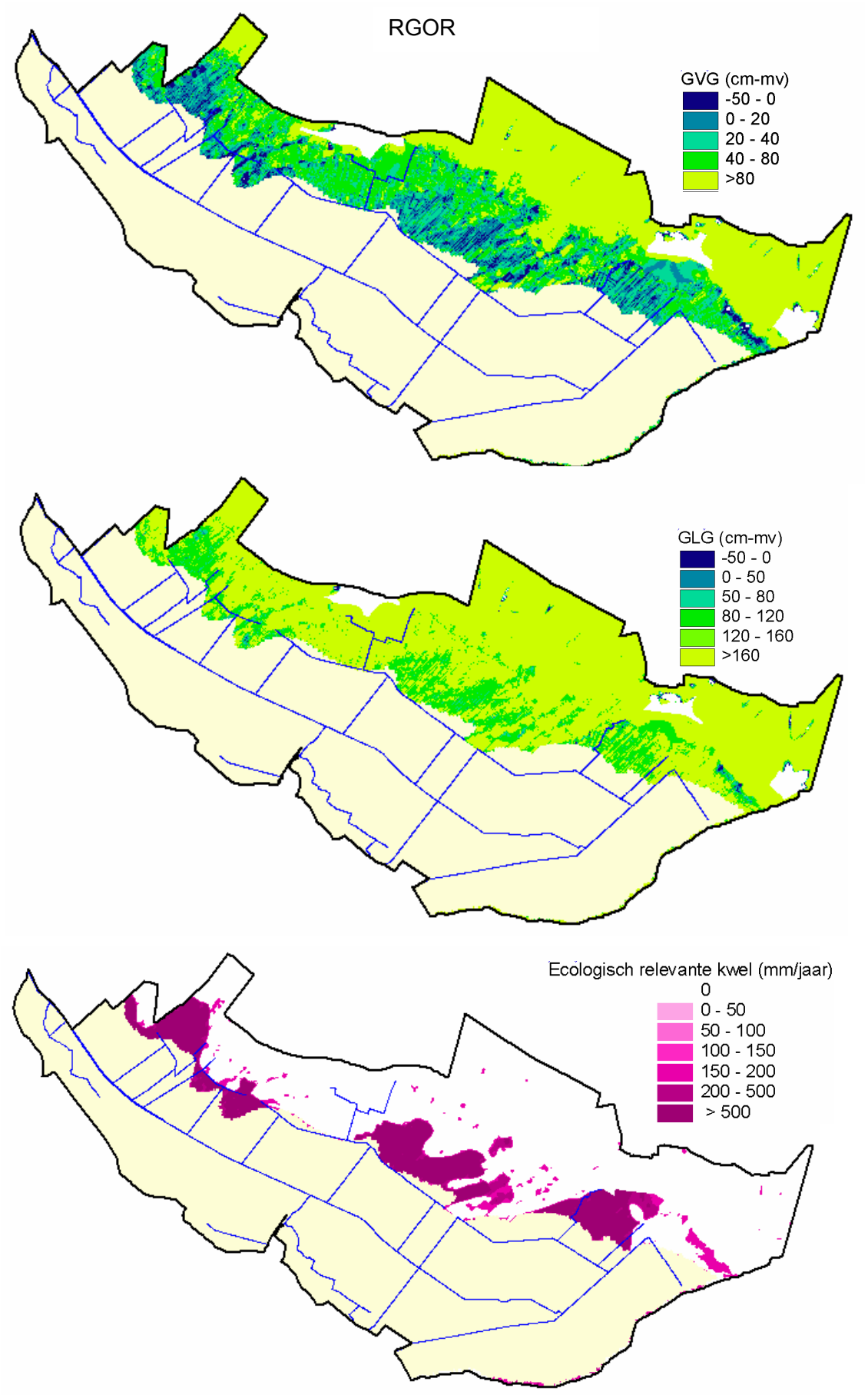
Aanhangsel 2 Hydrologische situaties natuurverkenning



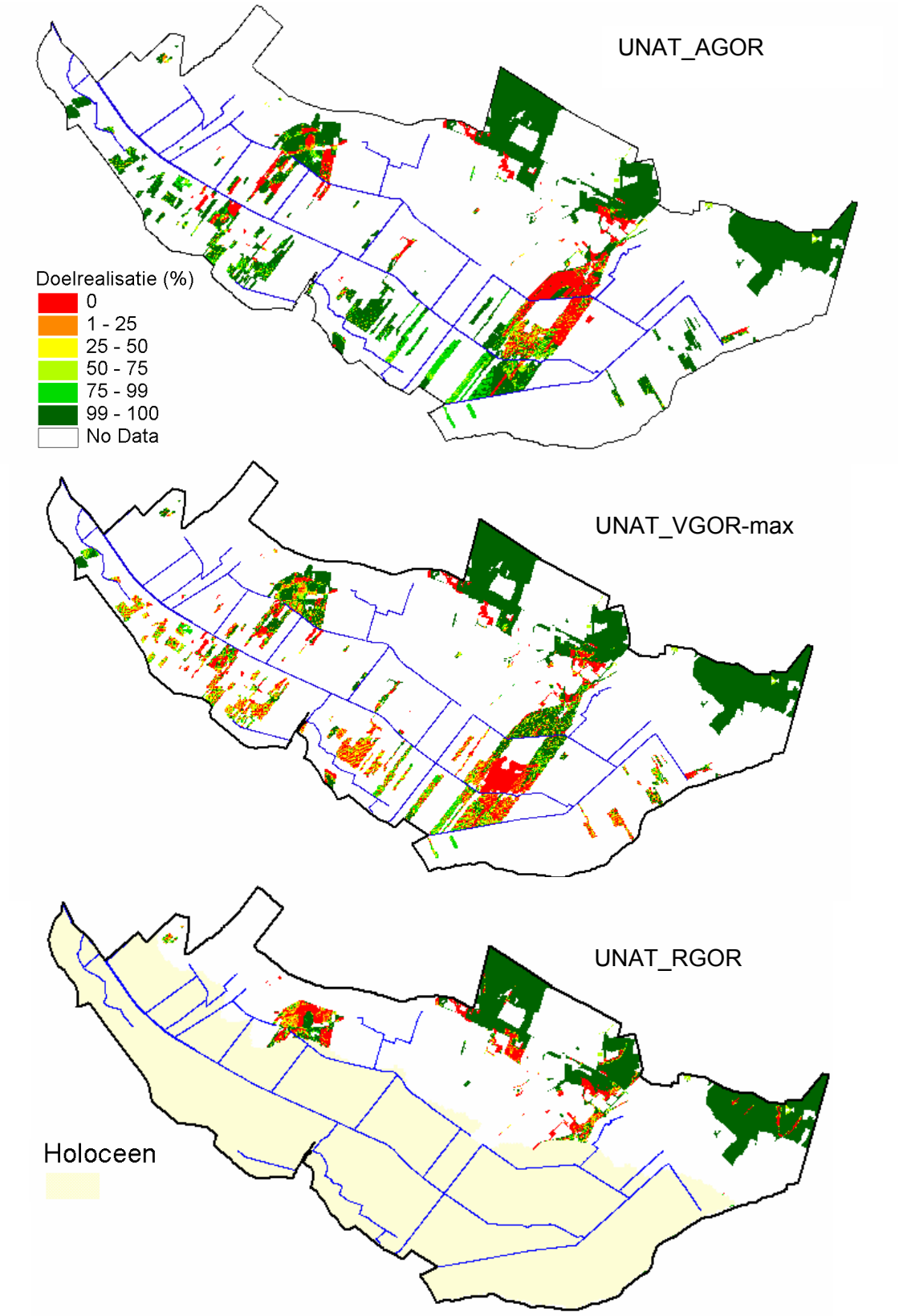


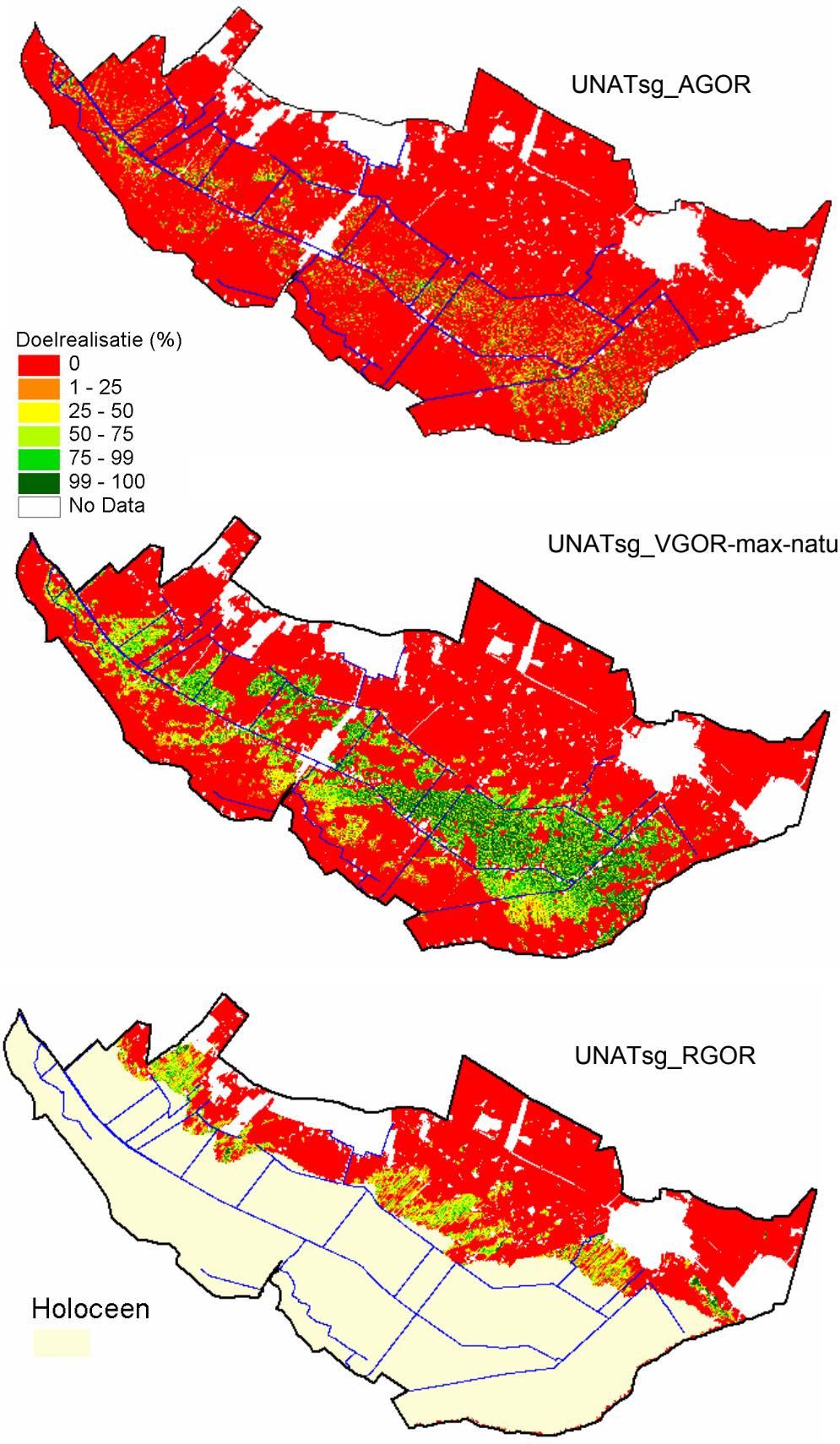


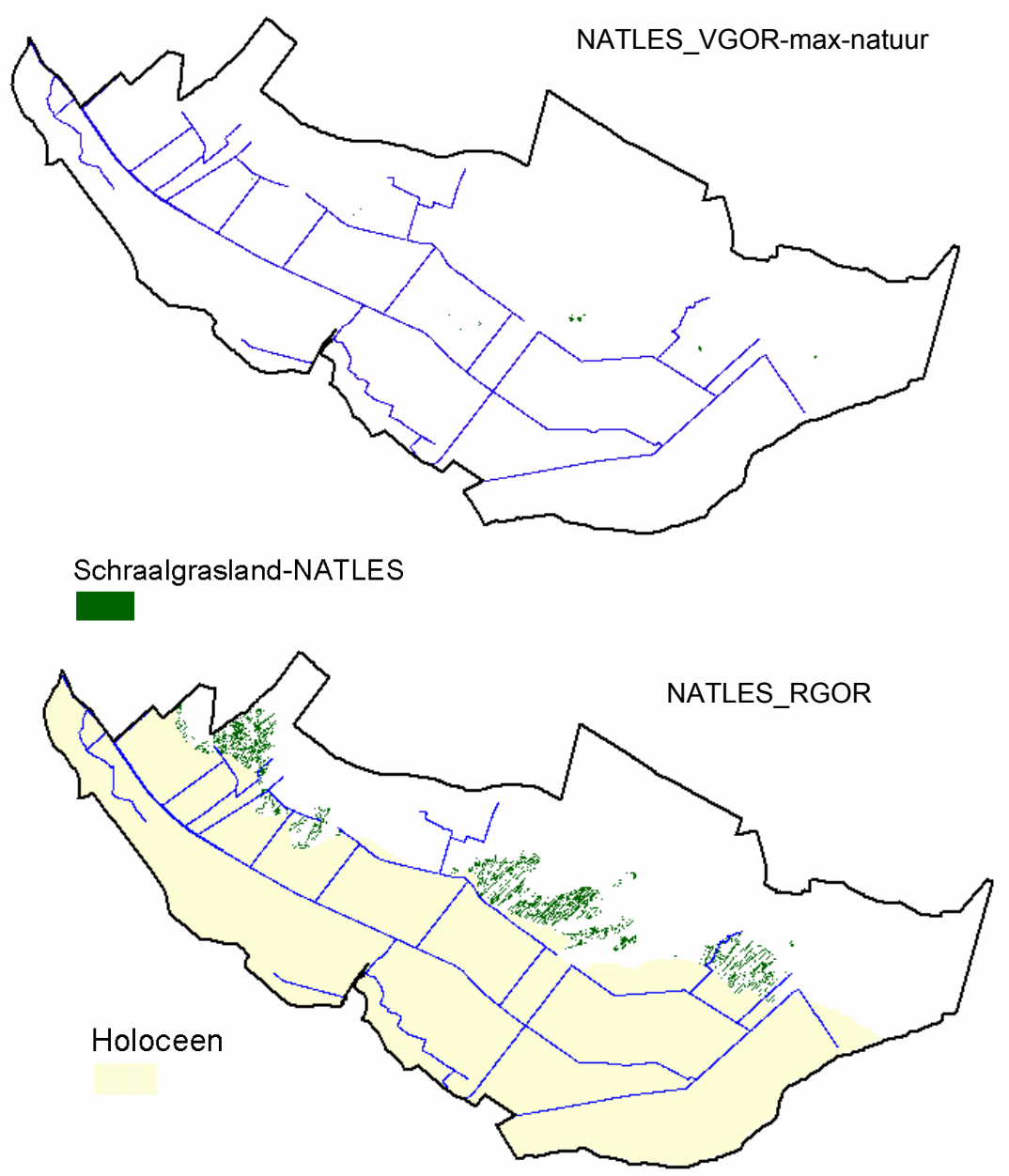

VGOR-max-natuur
GVG (cm-mv)
-50 - 0
0 - 20
20 - 40
40 - 80
>80
GLG (cm-mv)
-50 - 0
0 - 50
50 - 80
80 - 120
120 - 160
>160
Ecologisch relevante kwel (mm/jaar)
0
0 - 50
50 - 100
100 - 150
150 - 200
200 - 500
> 500


RGOR
GVG (cm-mv)
-50 - 0
0 - 20
20 - 40
40 - 80
>80
GLG (cm-mv)
-50 - 0
0 - 50
50 - 80
80 - 120
120 - 160
>160
Ecologisch relevante kwel (mm/jaar)
0
0 - 50
50 - 100
100 - 150
150 - 200
200 - 500
> 500

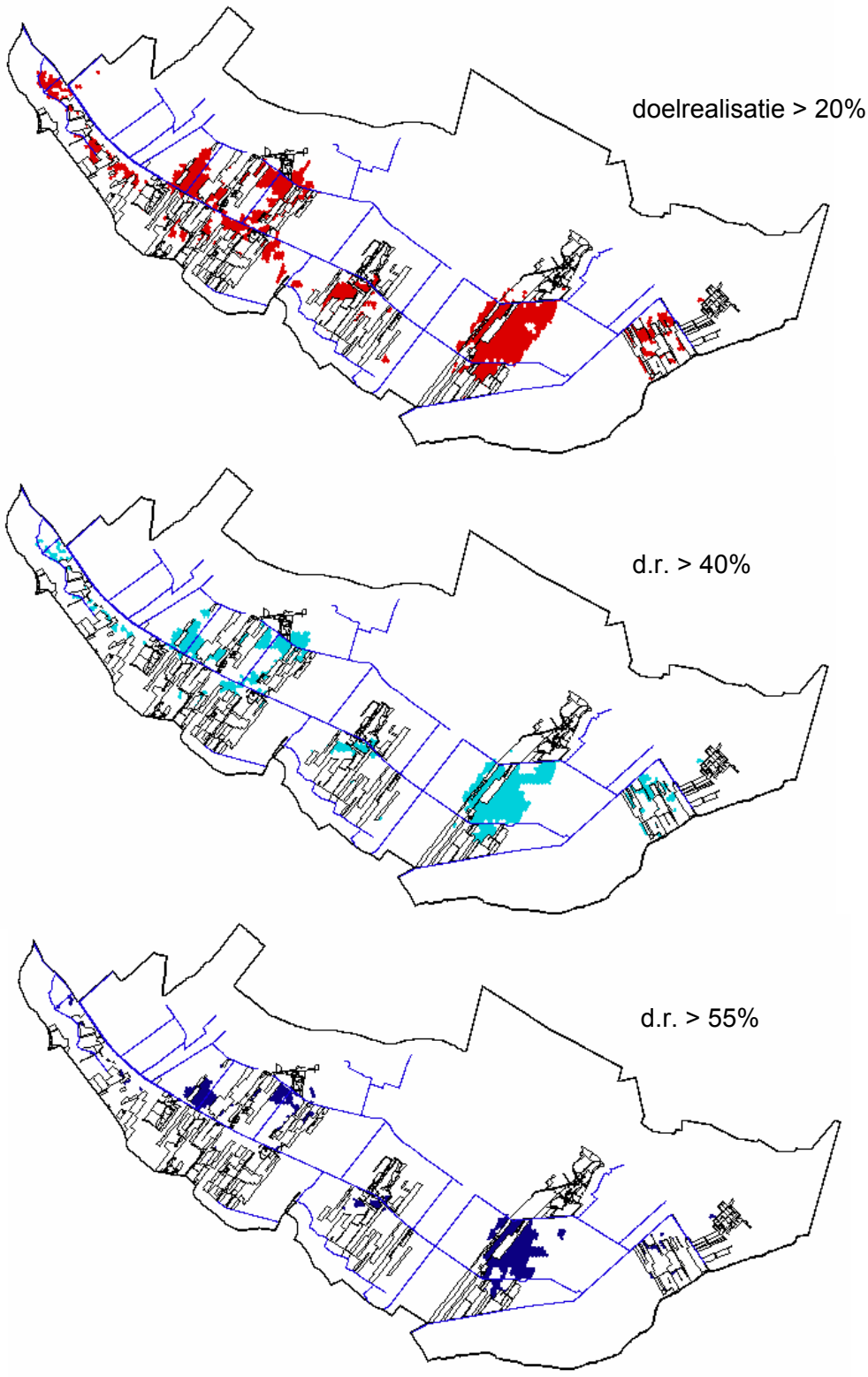
Aanhangsel 3 Ecologische evaluaties natuurverkenning



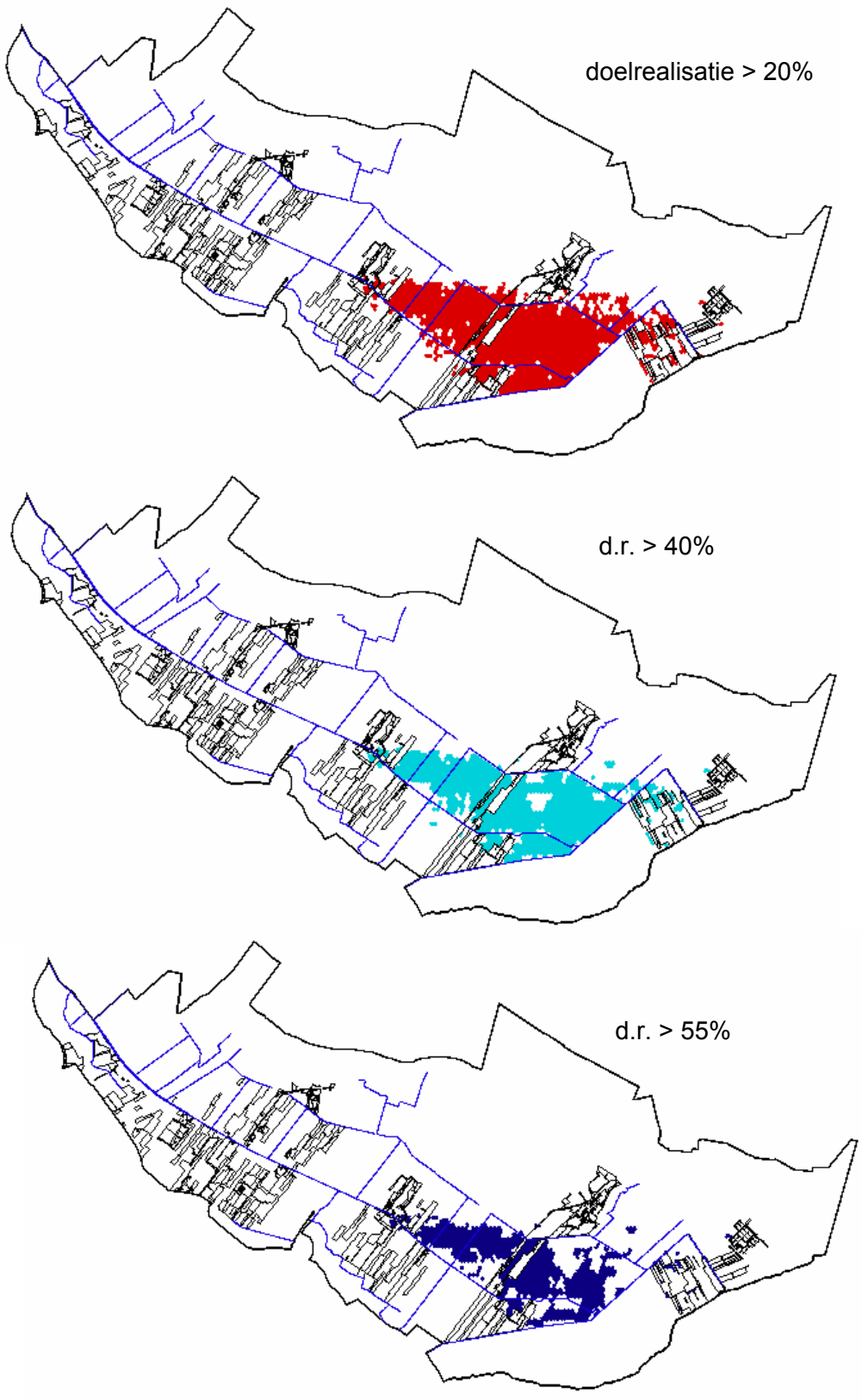

UNATsg_AGOR
Doelrealisatie (%)
0
1 - 25
25 - 50
50 - 75
75 - 99
99 - 100
No Data
UNATsg_VGOR-max-natuur
UNATsg_RGOR
Holoceen


NATLES_VGOR-max-natuur
Schraalgrasland-NATLES
NATLES_RGOR
Holoceen

Aanhangsel 4 Opeenvolgende stappen selectie natuur

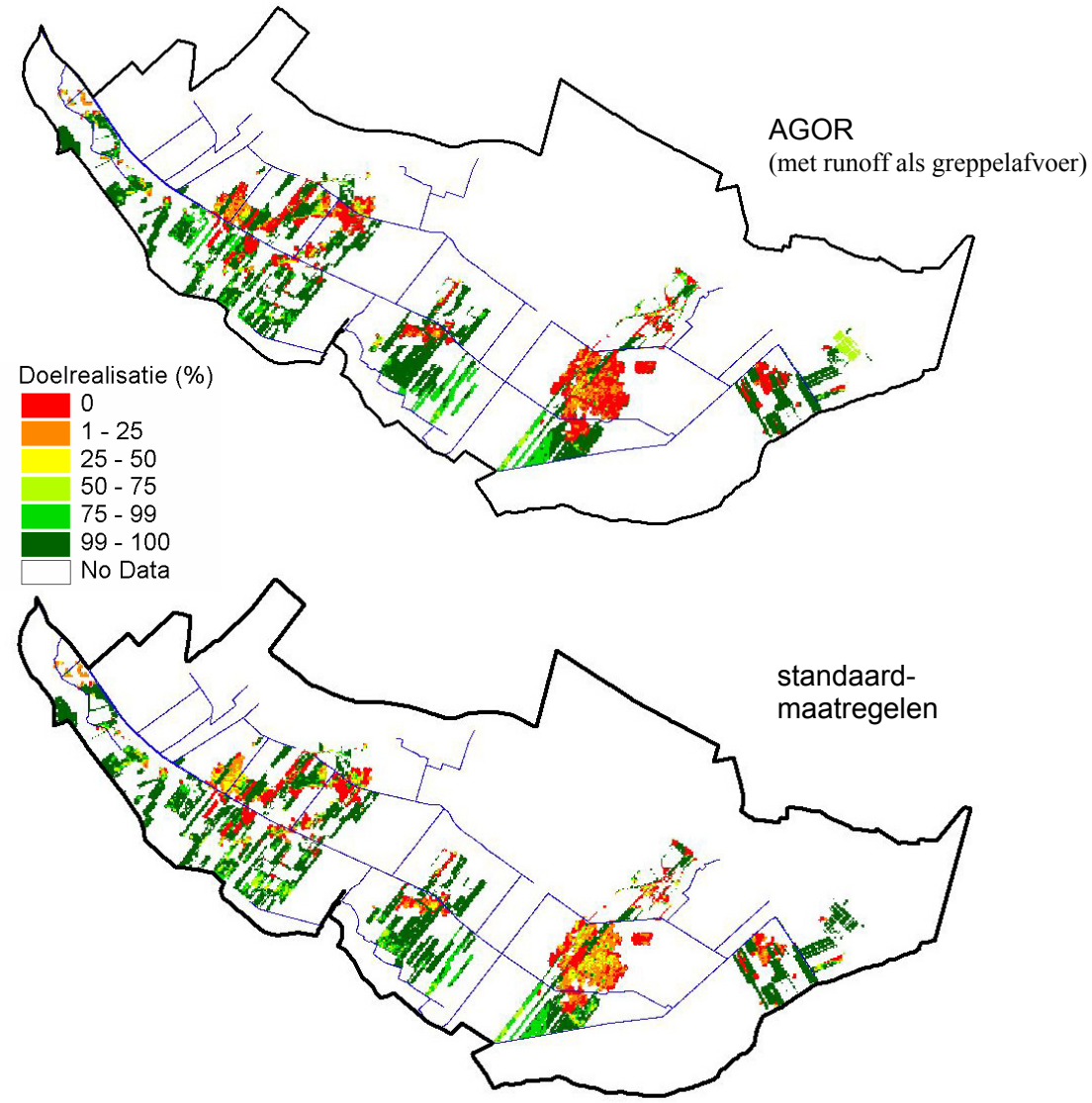


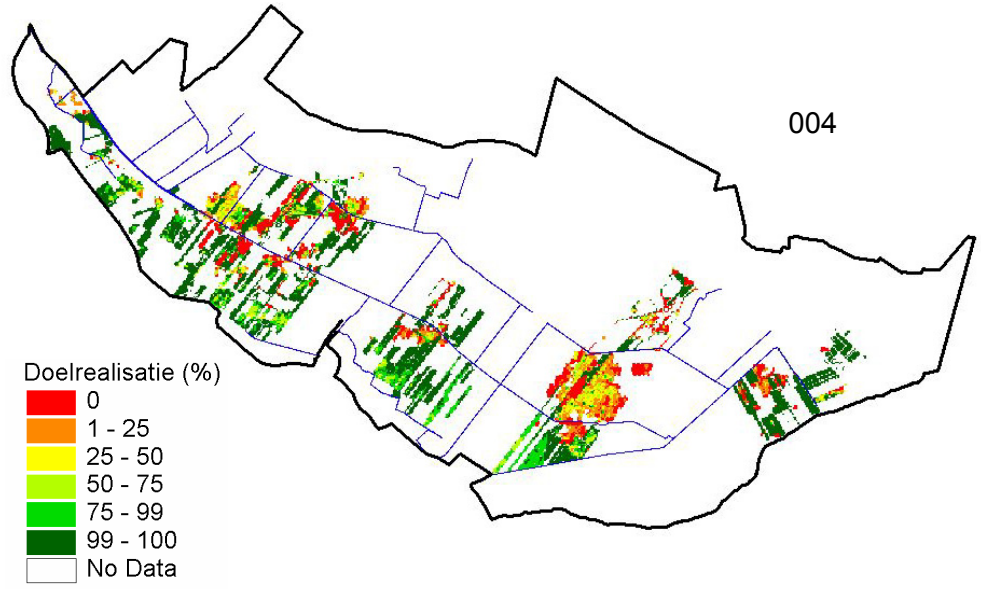
Figuur 67 Opeenvolgende stappen selectie natuur voor het zoekgebied uit 'Plan van Aanpak'

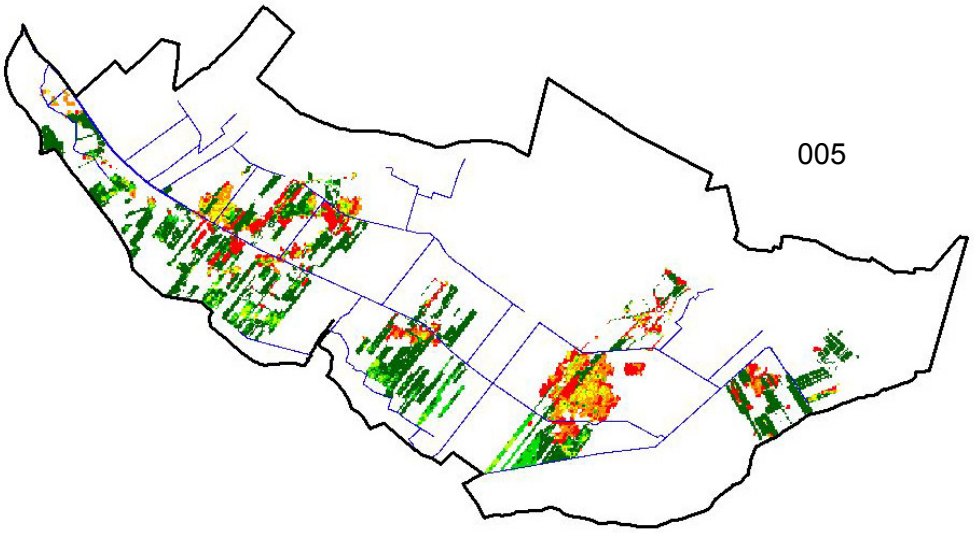


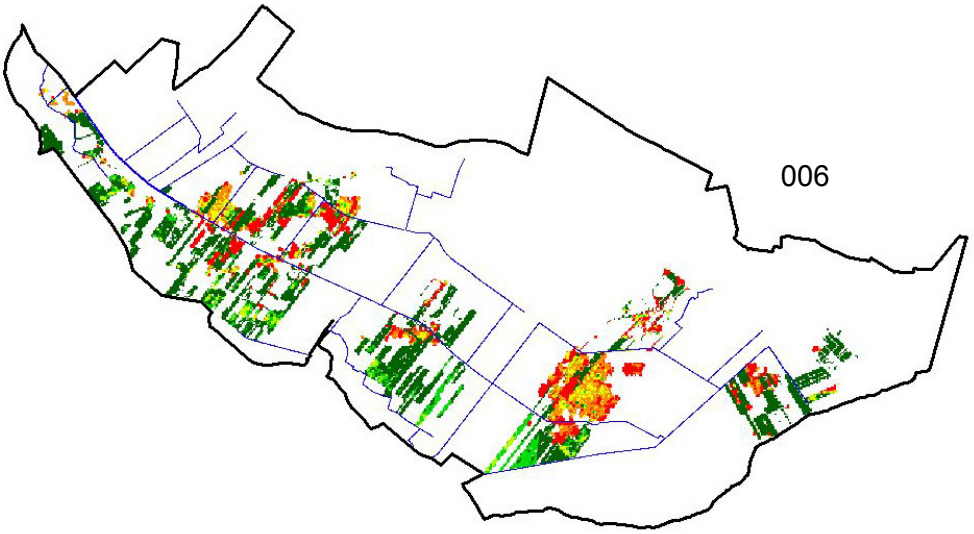
Figuur 68 Opeenvolgende stappen selectie natuur voor het zoekgebied 'Geconcentreerd'

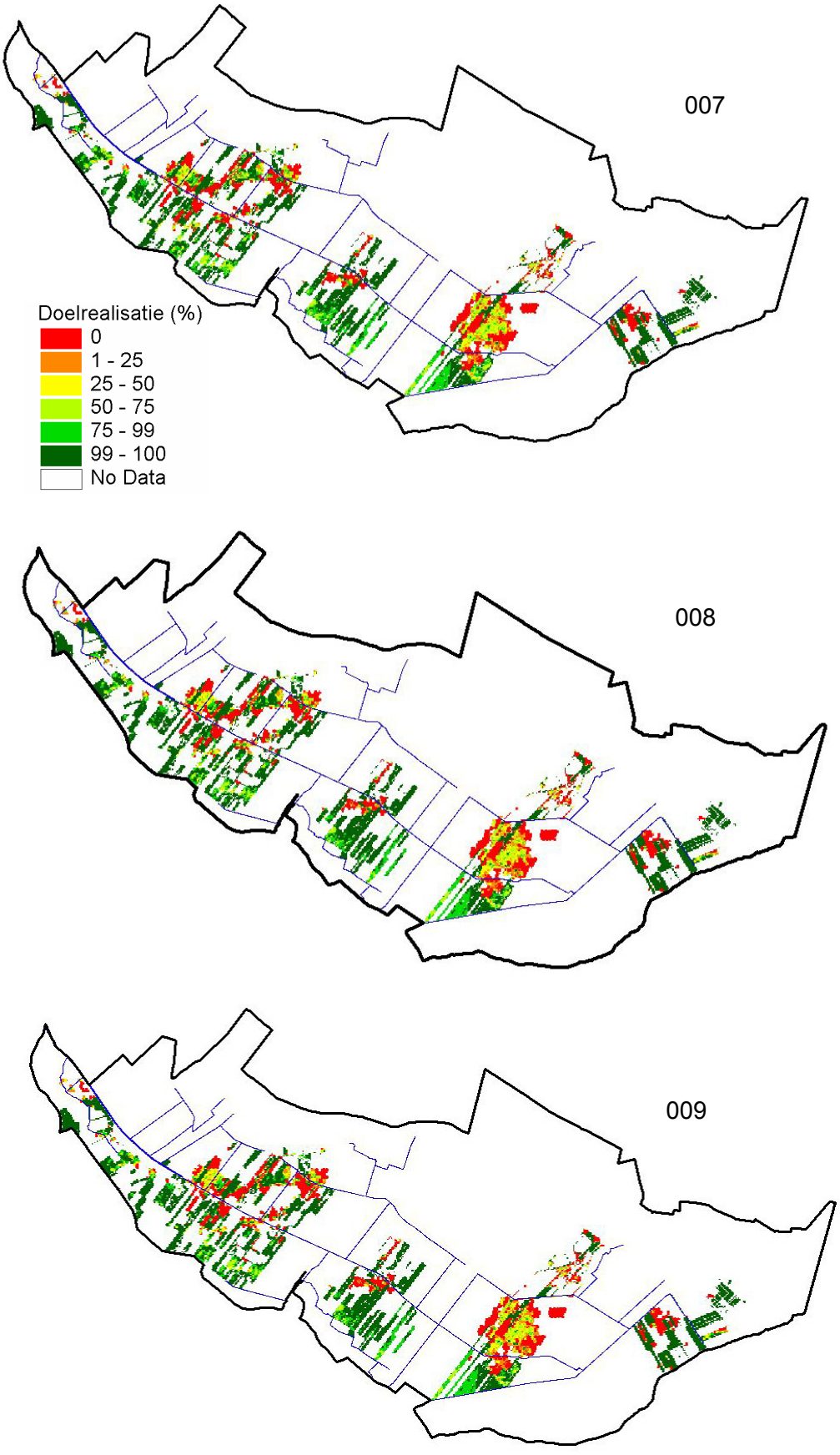
Aanhangsel 5 Natuurdoelrealisaties maatregelrunvarianten natuur

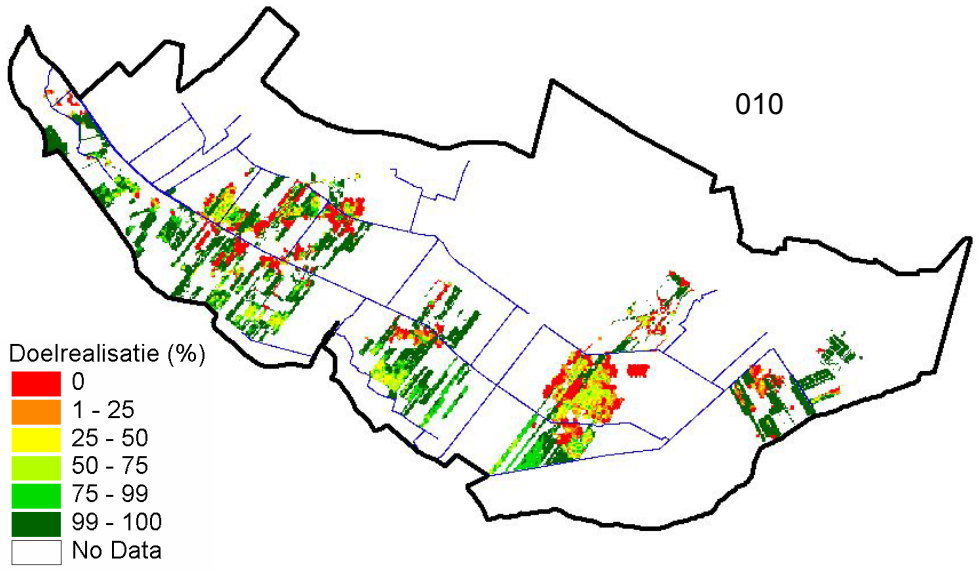


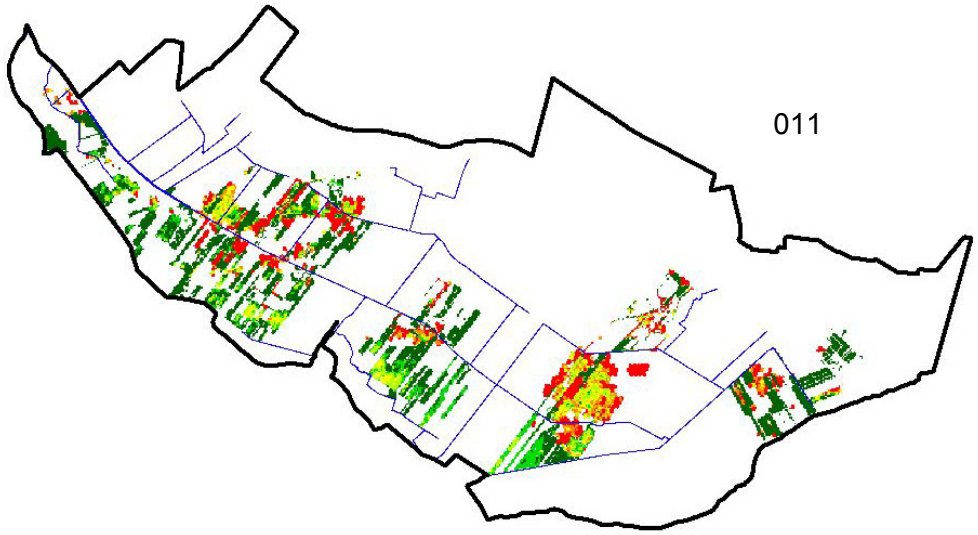

004
Doelrealisatie (%)
0
1 - 25
25 - 50
50 - 75
75 - 99
99 - 100
No Data

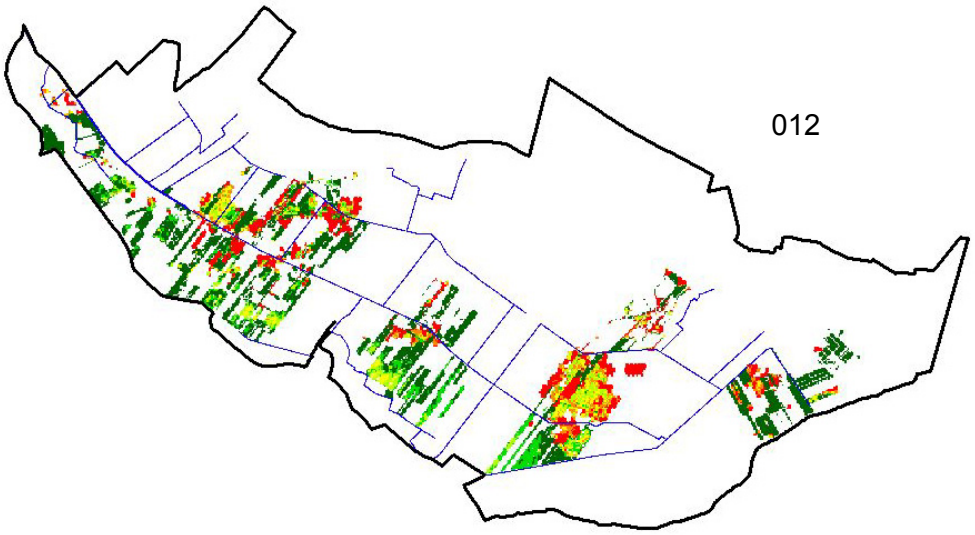

005

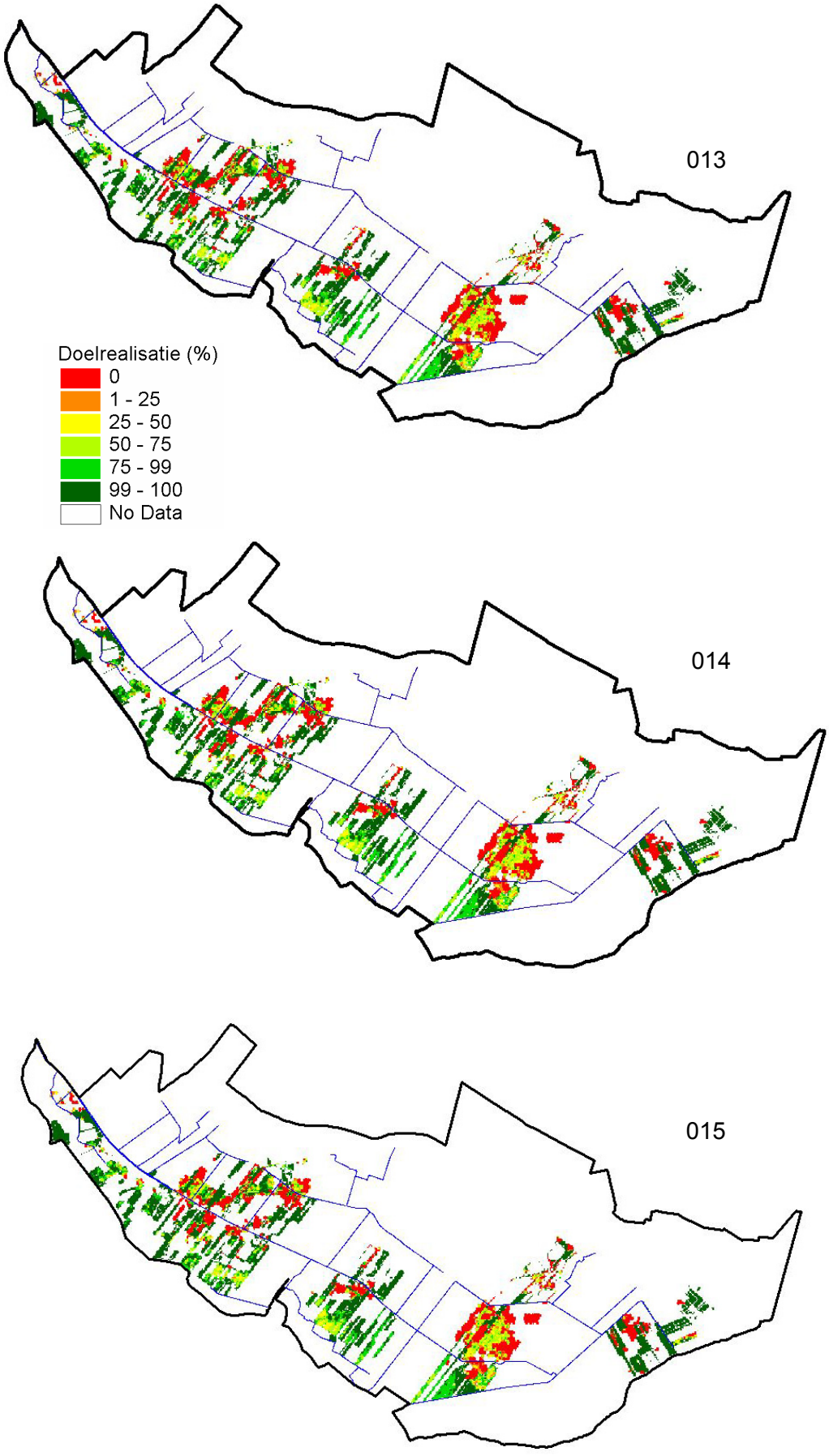

006


007
Doelrealisatie (%)
0
1 - 25
25 - 50
50 - 75
75 - 99
99 - 100
No Data
008
009

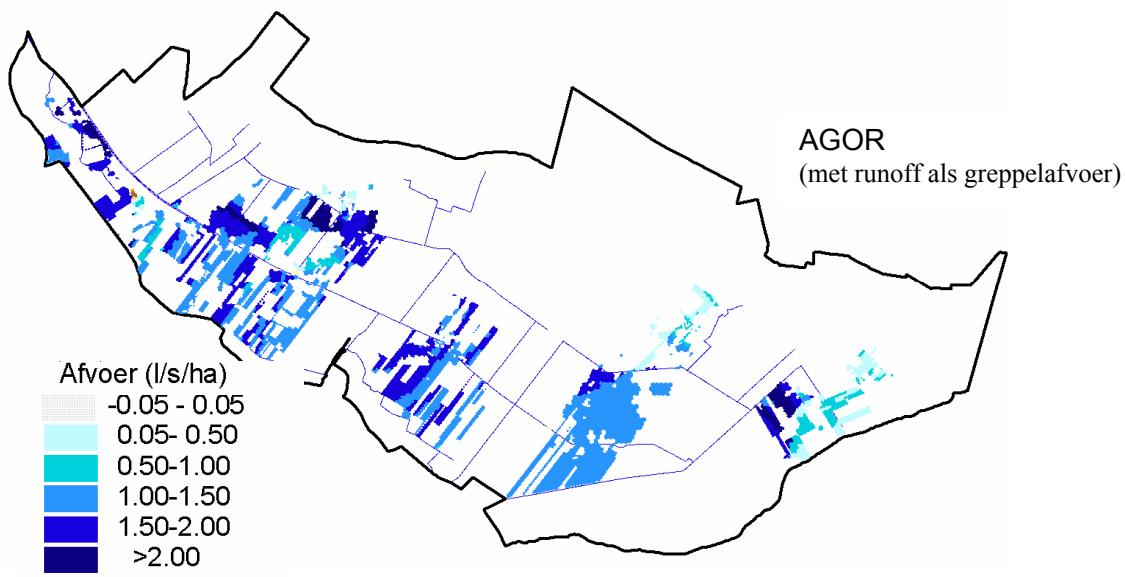

010
Doelrealisatie (%)
0
1 - 25
25 - 50
50 - 75
75 - 99
99 - 100
No Data

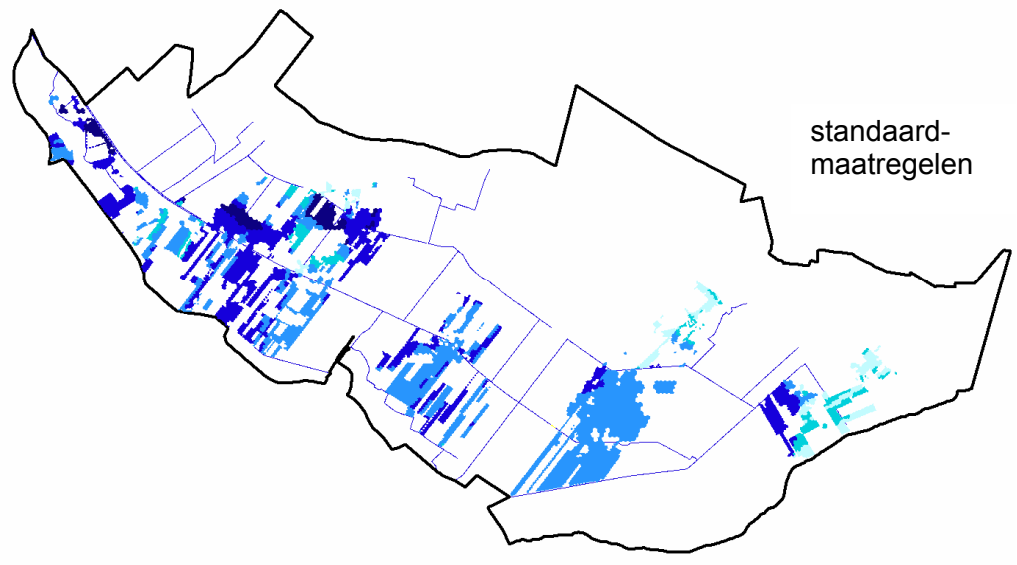

011

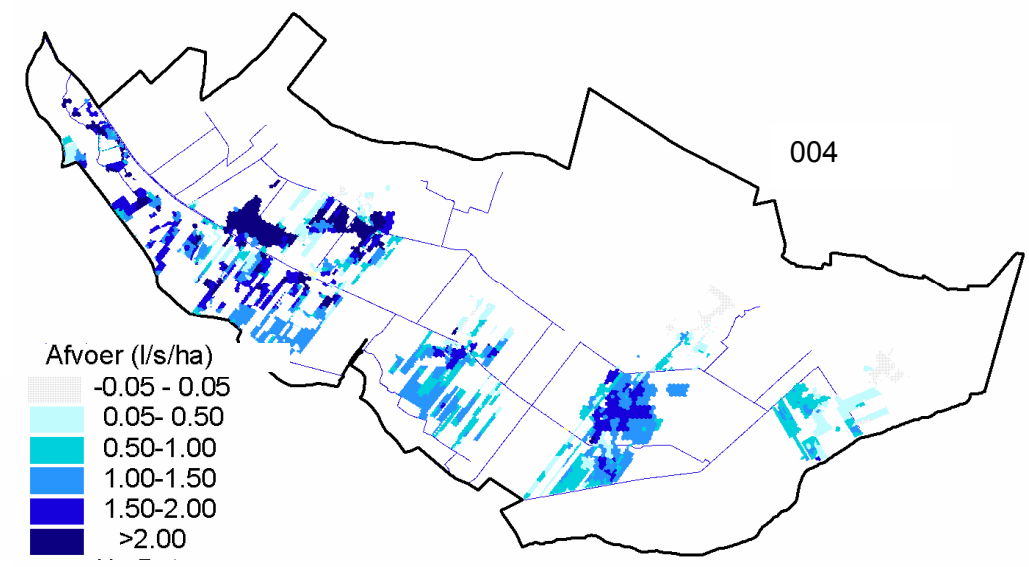

012

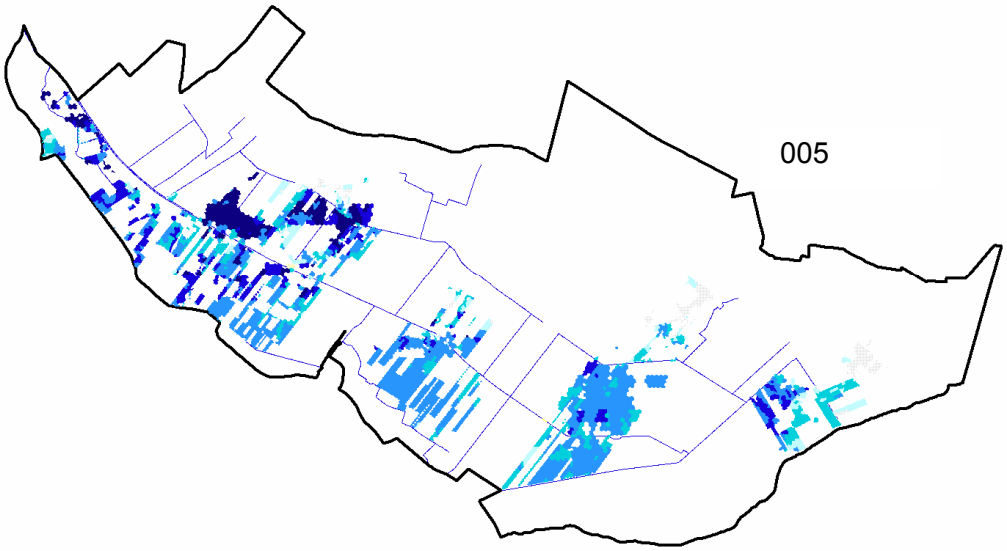

013
Doelrealisatie (%)
0
1 - 25
25 - 50
50 - 75
75 - 99
99 - 100
No Data
014
015

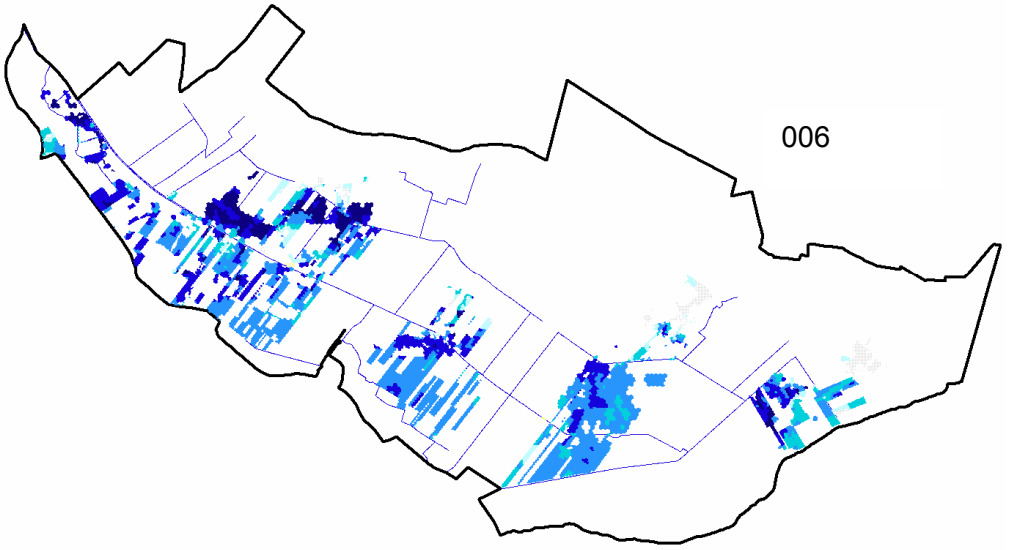
Aanhangsel 6 Bijdragen piekafvoer maatregelevarianten natuur

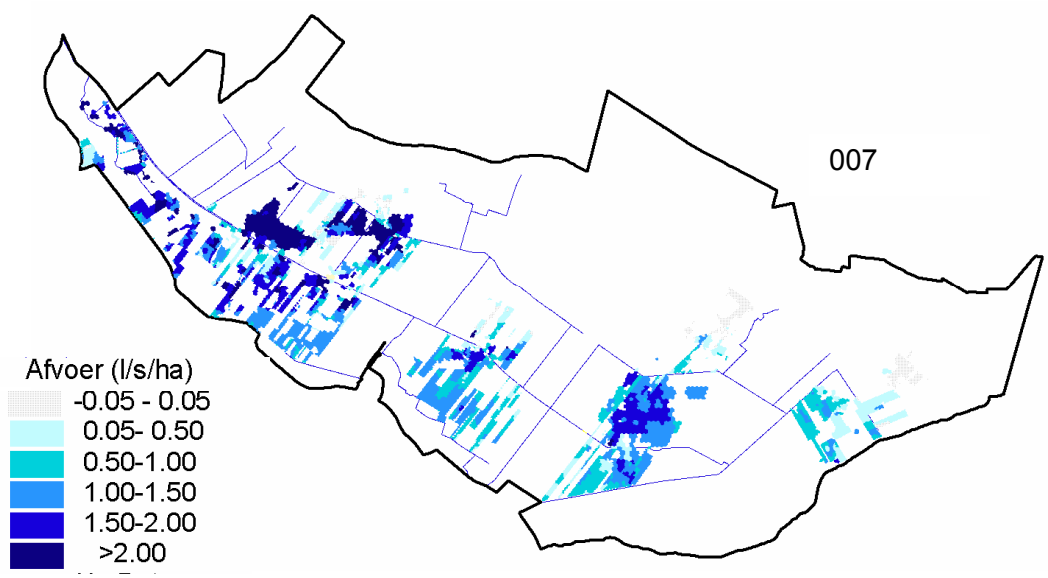


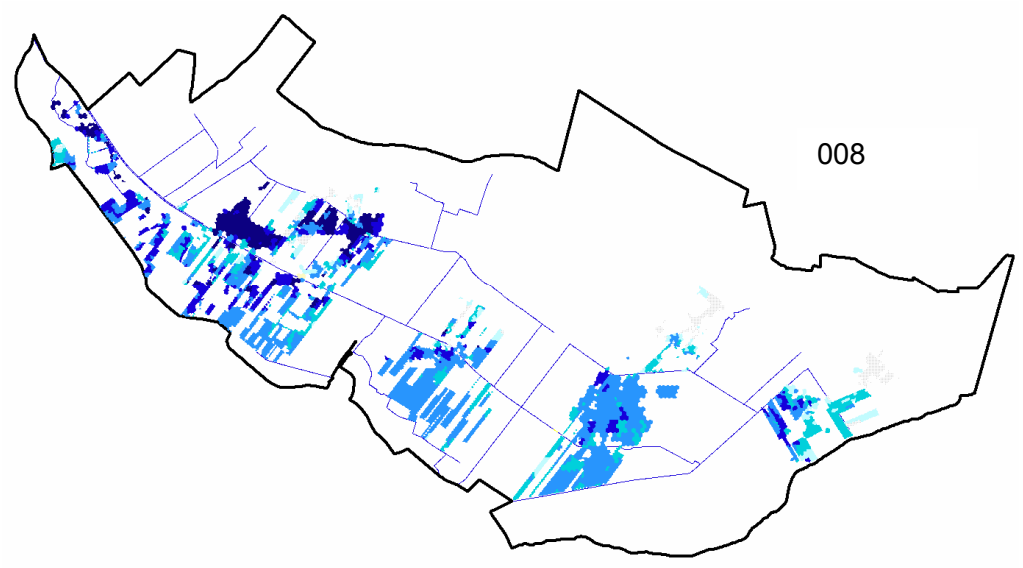


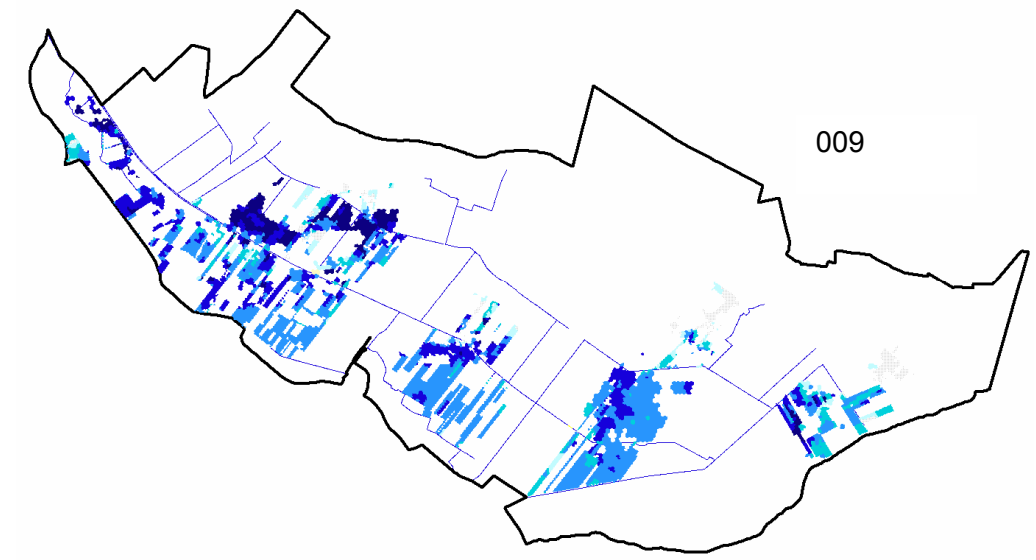

004
Afvoer (l/s/ha)
-0.05 - 0.05
0.05- 0.50
0.50-1.00
1.00-1.50
1.50-2.00
>2.00

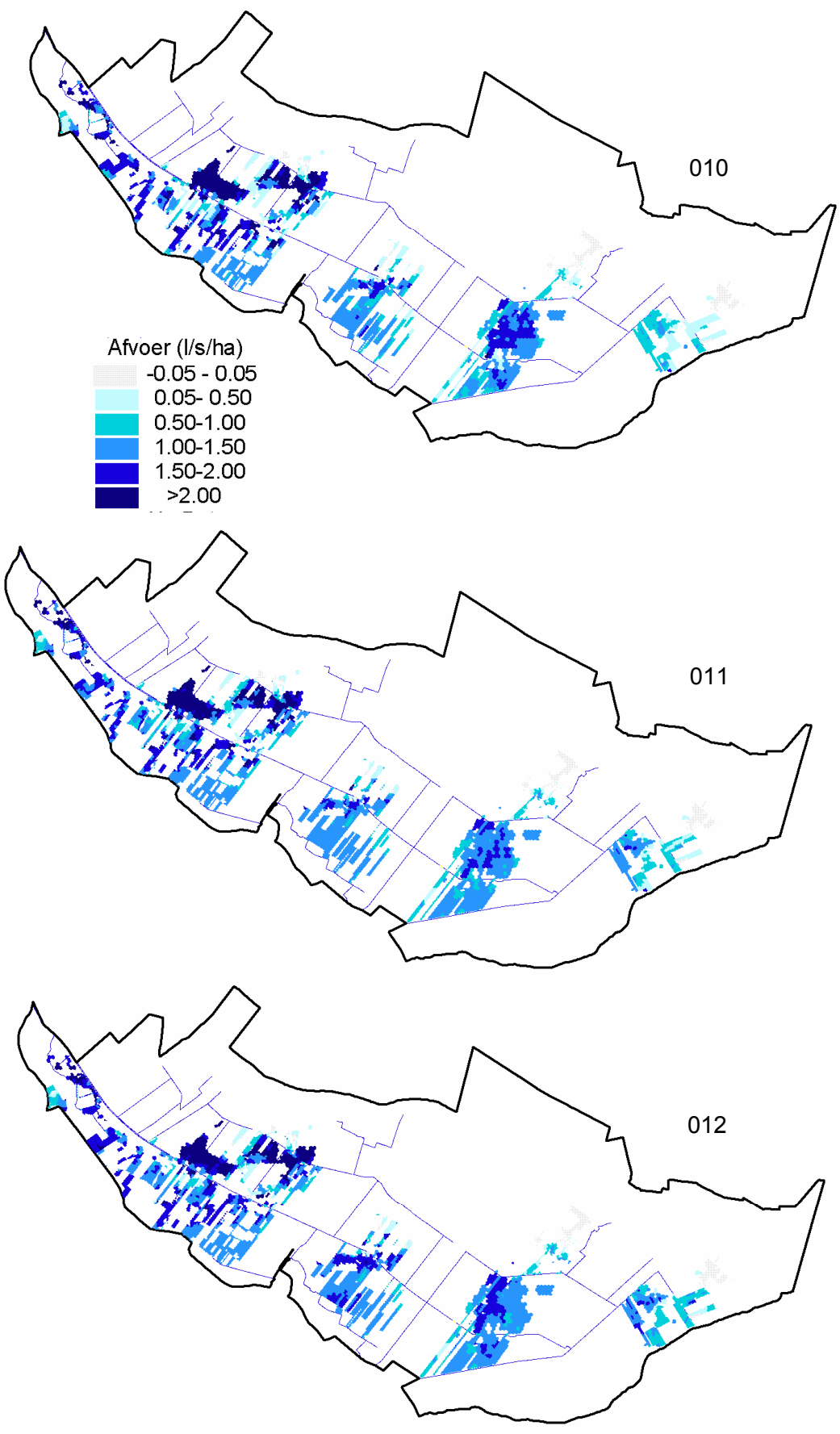

005

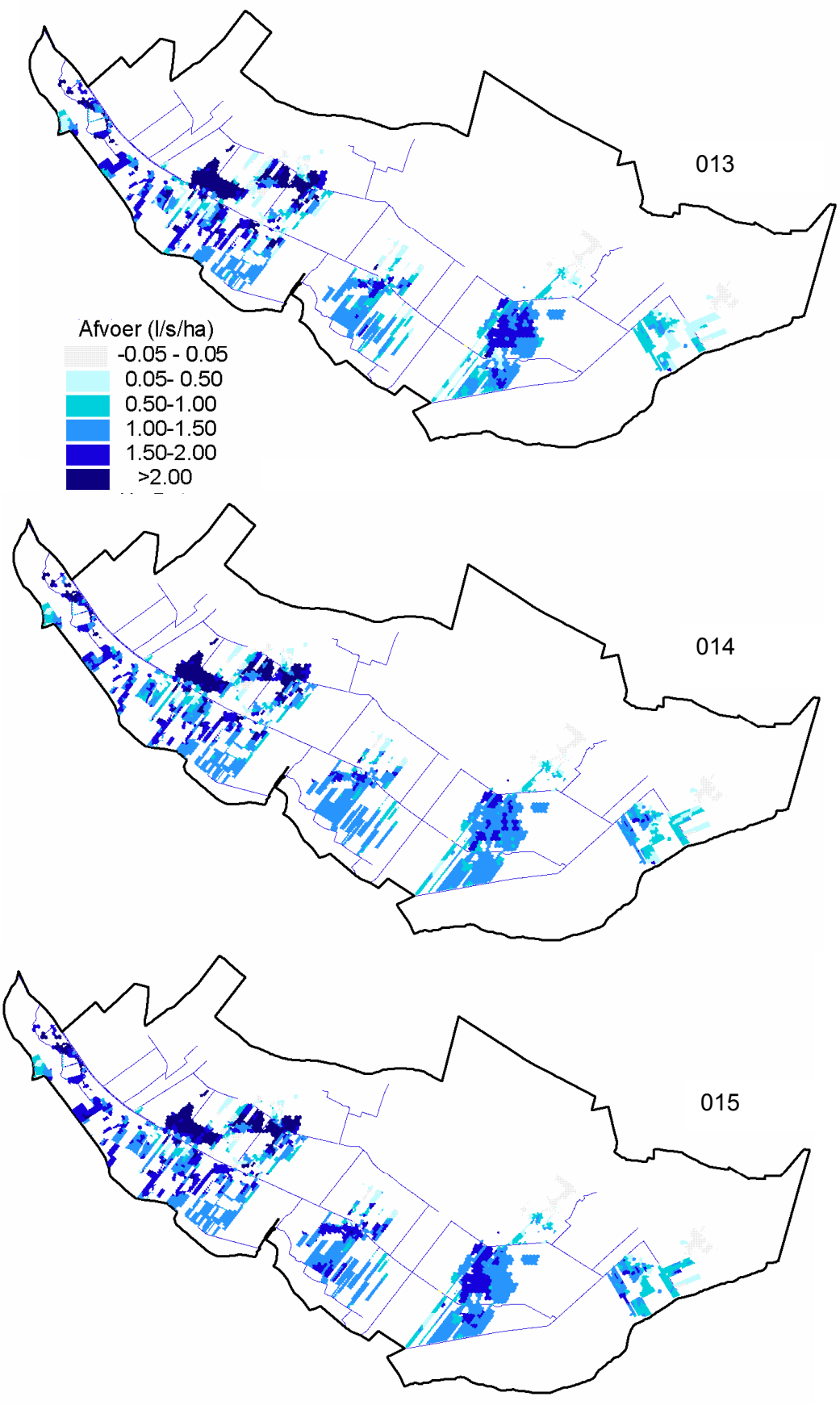

006


007
Afvoer (l/s/ha)
-0.05 - 0.05
0.05- 0.50
0.50-1.00
1.00-1.50
1.50-2.00
>2.00


008


009


010
Afvoer (l/s/ha)
-0.05 - 0.05
0.05- 0.50
0.50-1.00
1.00-1.50
1.50-2.00
>2.00
011
012


013
Afvoer (l/s/ha)
-0.05 - 0.05
0.05- 0.50
0.50-1.00
1.00-1.50
1.50-2.00
>2.00
014
015

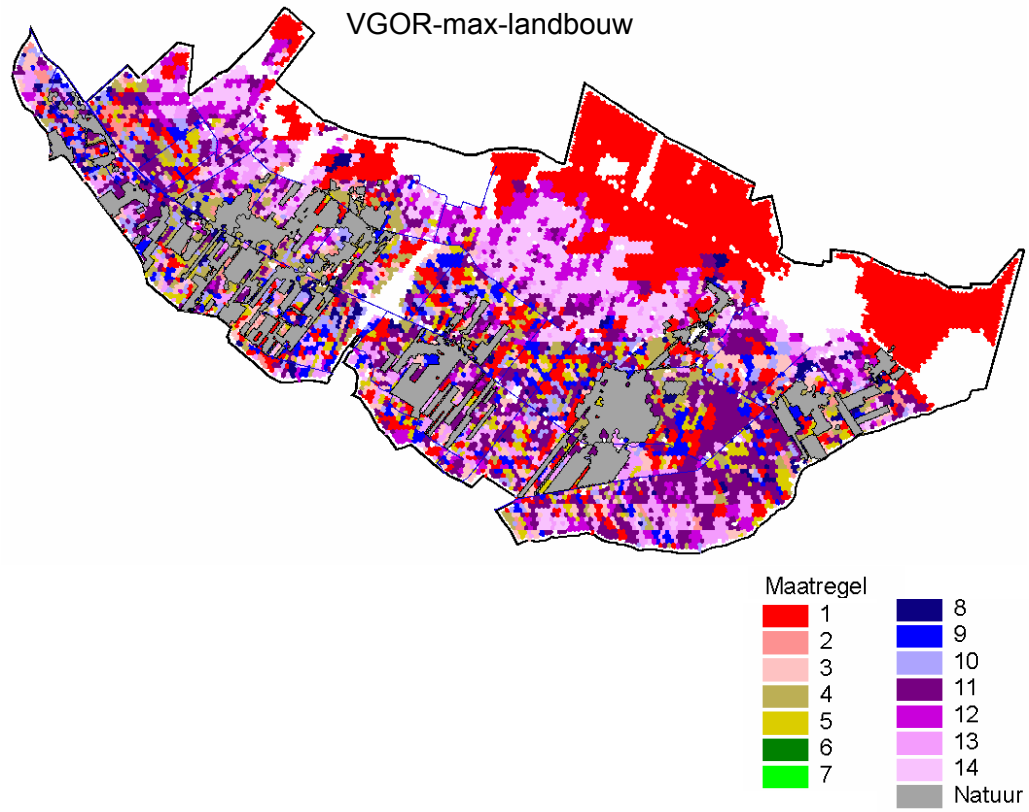
Aanhangsel 7 Toegekende gewichten aan UNATs

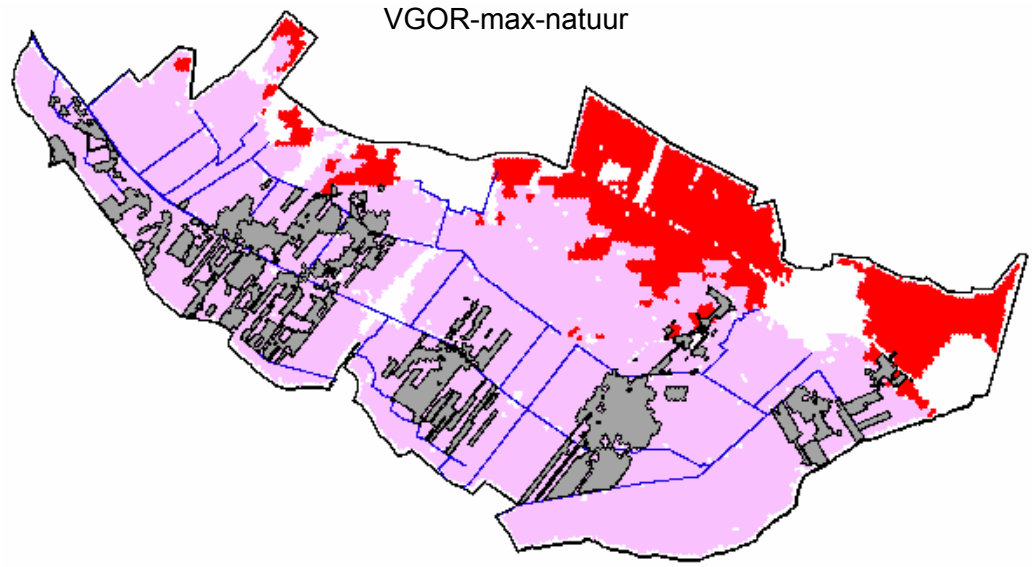
Tabel A7.1 Toegekende gewichten van UNATs (Van Pruissen, pers. med.).

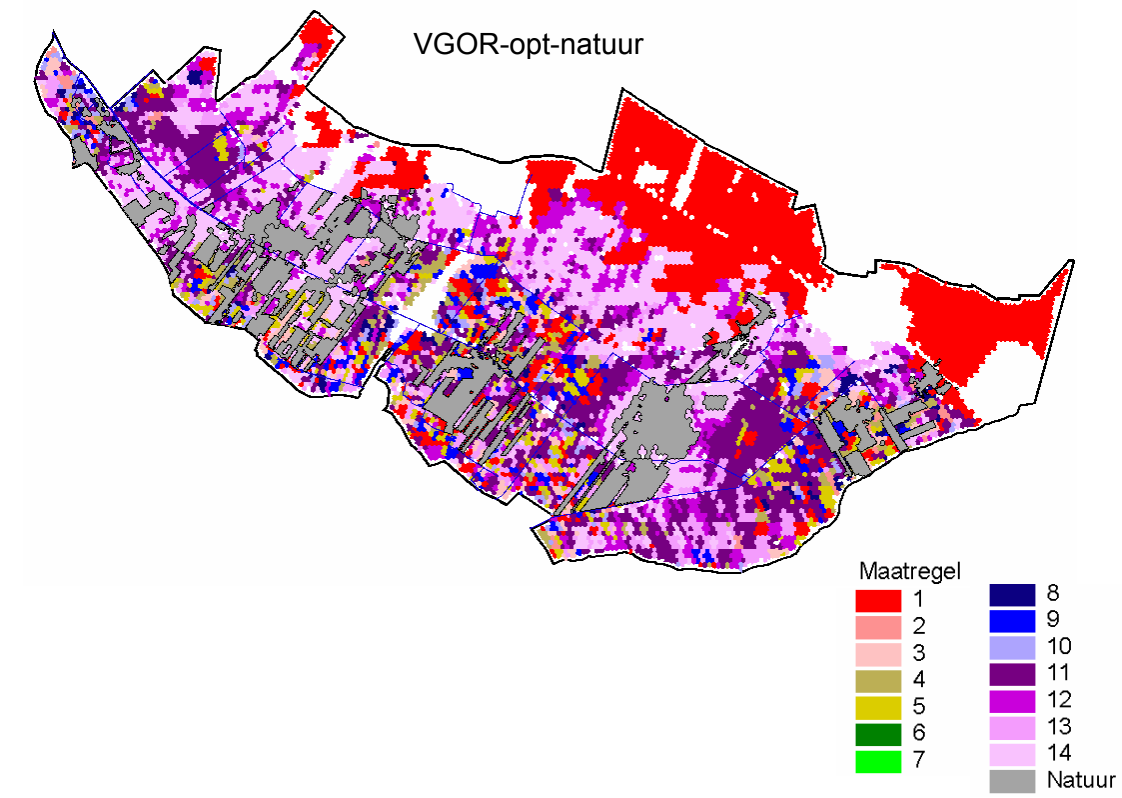
Unat	gewicht	Code	Omschrijving
1	1.00	x	
2	3.00	hz-3.14 d	Bos van leemgrond, droog
3	3.00	hz-3.13 d	Bos van arme zandgrond, doog
4	4.00	ri-3.08 v	Hakhout en griend, vochtig
5	1.00	hz-3.11 m	Houtwal, struweel en boszoom, matig droo
6	1.00	x	
7	3.00	hz-3.19 d	Park-stinzenbos, droog
8	1.00	x	
9	3.00	hz-3.19 v	Park-stinzenbos, vochtig
10	4.00	hz-3.13 v	Bos van arme zandgrond, vochtig
11	4.00	hz-3.14 m	Bos van leemgrond, matig drog
12	1.00	x	
13	3.00	ri-3.12 v	Parkstinzenbos, vochtig
14	3.00	hz-3.06	Bloemrijk grasland, vochtig
15	4.00	hz-3.14 v	Bos van leemgond, vochtig
16	4.00	hz-3.12 v	Hakhout, vochtig
17	2.00	hz-3.11 n	Houtwal, struweel en boszoom, nat
18	4.00	hz-3.07 v	Schraalgrasland, vochtige variant
19	3.00	hz-3.12 d	Hakhout, droog
20	1.00	hz-3.10 n	Vochtige heide + levend hoogveen nat
21	1.00	hz-3.10 v	Vochtige heide + levend hoogveen, vochti
22	4.00	ri-3.10 v	Bosgemeenschap van rivierklei, vochtig
23	3.00	ri-3.10 n	Bosgemeenschap van rivierklei, nat
24	4.00	ri-3.09	Bosgemeenschap van zandgrond en lichte k
25	2.00	ri-3.07 v	Houtwal, struweel en boszoom, vochtig
26	4.00	ri-4.02 v	Grasland, vochtig (met ontwikkelingspers
27	4.00	ri-3.04	Nat schraalgrasland
28	4.00	ri-3.05 v	Vochtig stroomdalgrasland

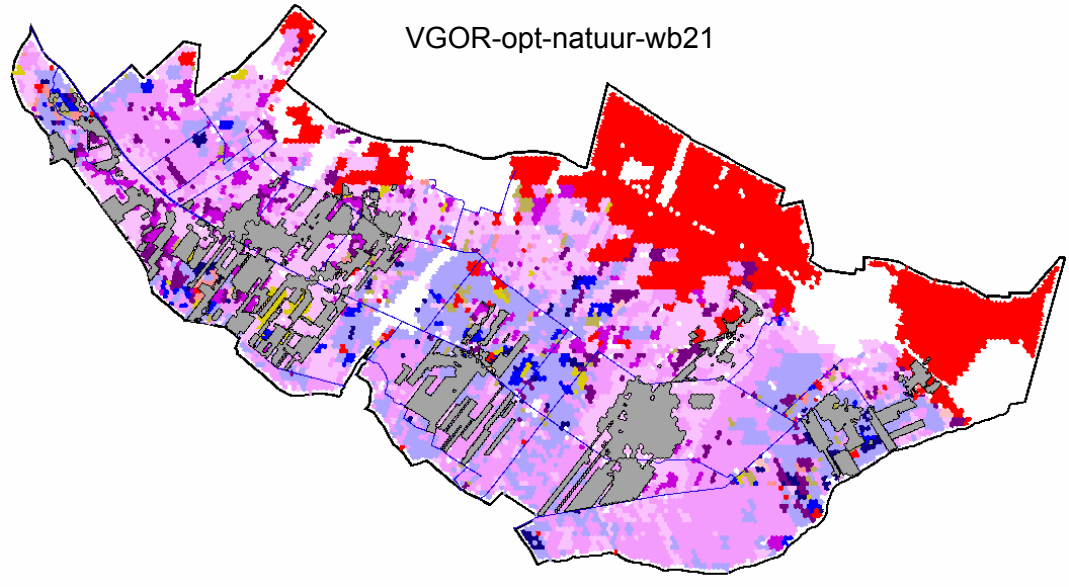
Aanhangsel 8 Maatregelpatronen van varianten landbouw

Onder "natuur" wordt hier verstaan de bestaande natuur plus de binnen het zoekgebied geselecteerde natuur (hoofdstuk 3, Figuur 26a) voor de Waterwijsruns

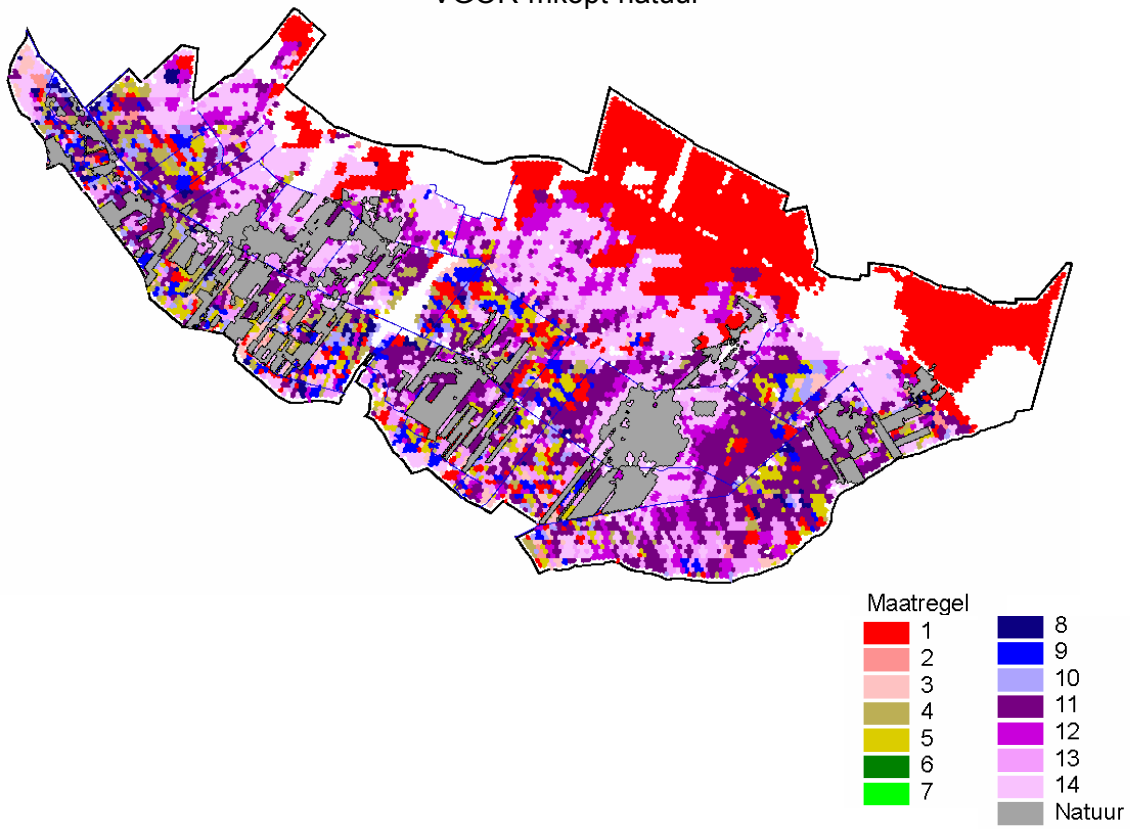




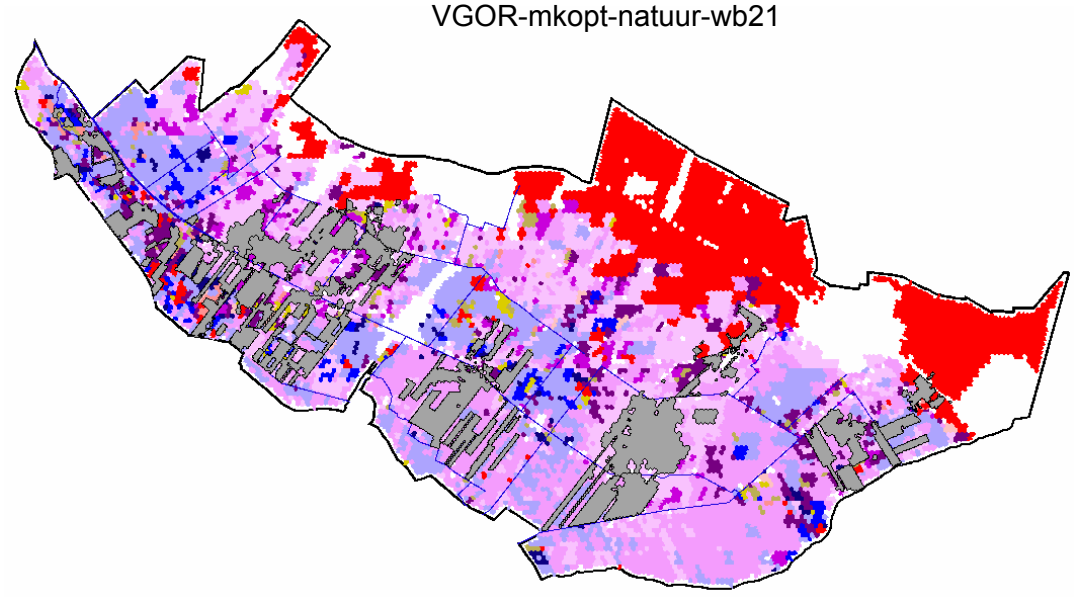

VGOR-opt-natuur
Maatregel
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
Natuur


VGOR-opt-natuur-wb21

VGOR-mkopt-natuur

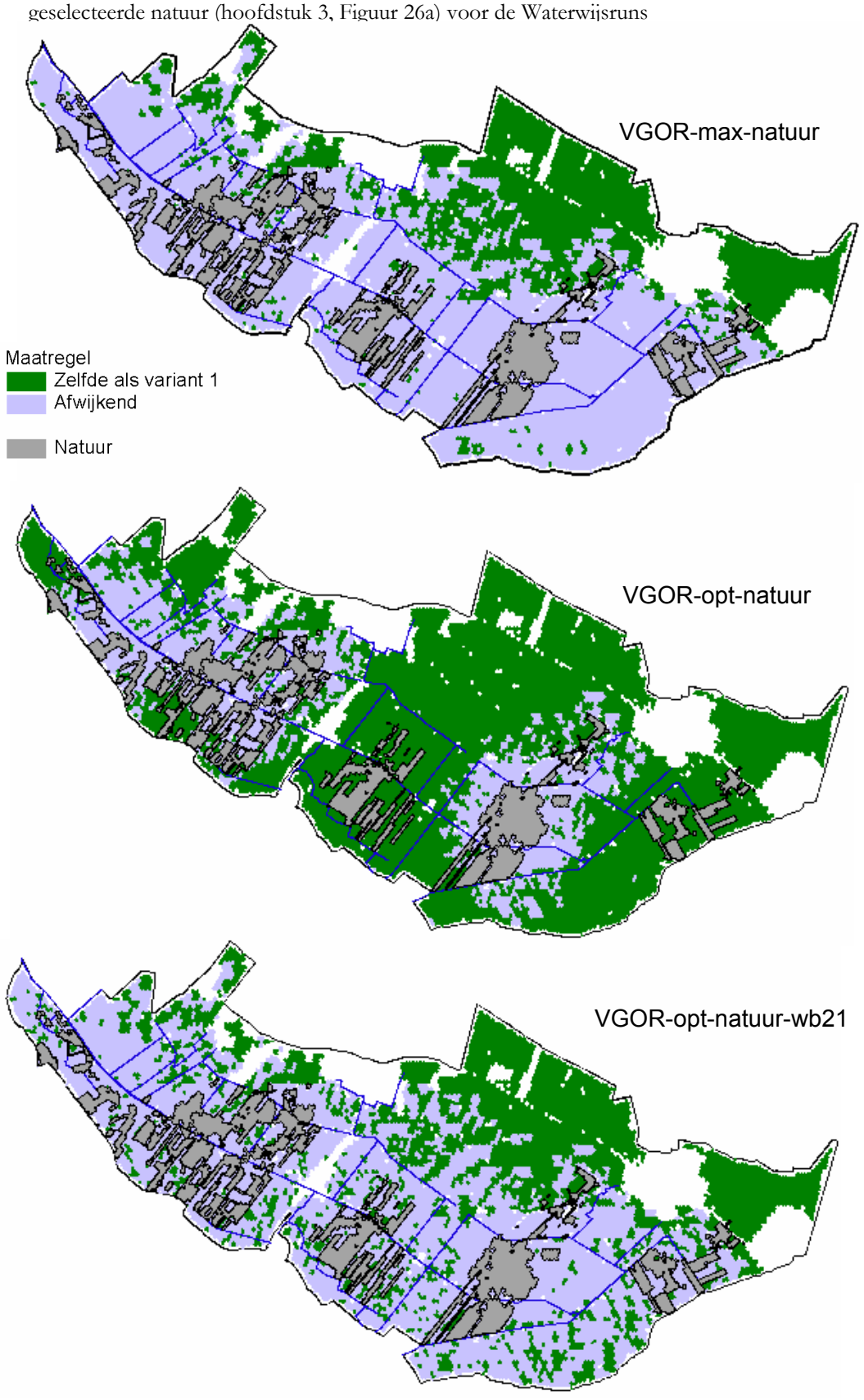


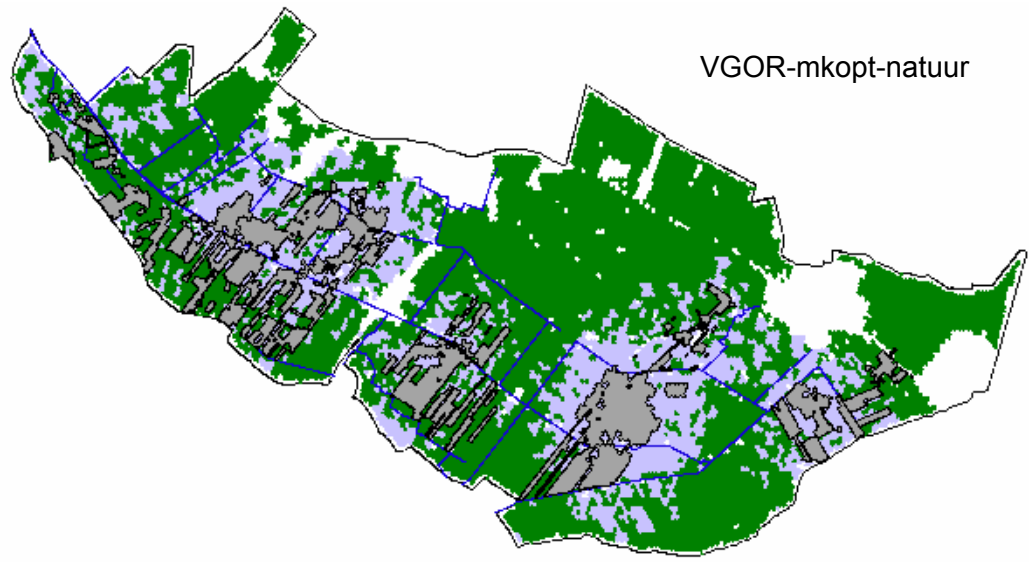
VGOR-mkopt-natuur-wb21



Aanhangsel 9 Vergelijking van maatregelvarianten landbouw

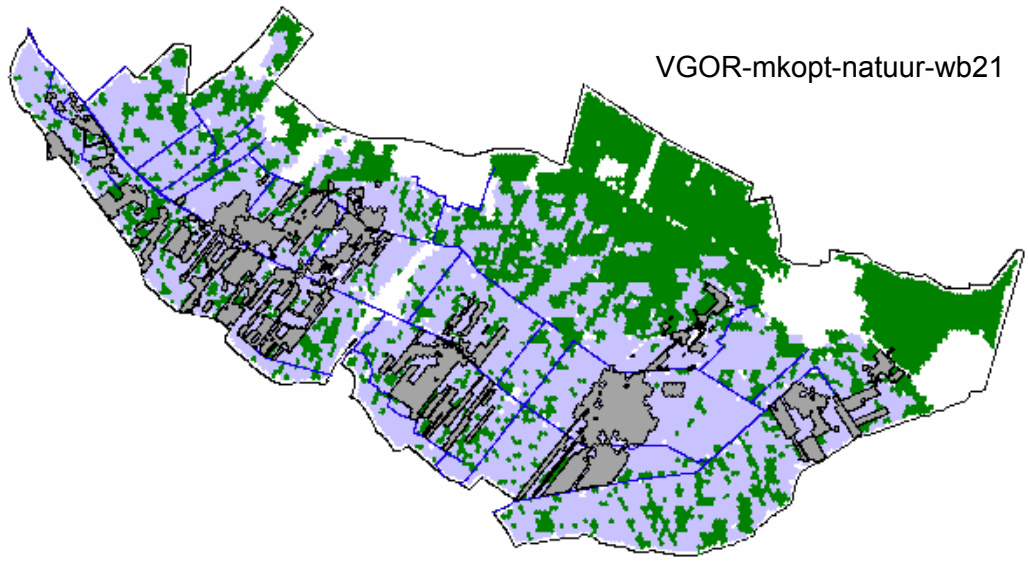
Onder "natuur" wordt hier verstaan de bestaande natuur plus de binnen het zoekgebied geselecteerde natuur (hoofdstuk 3, Figuur 26a) voor de Waterwijsruns



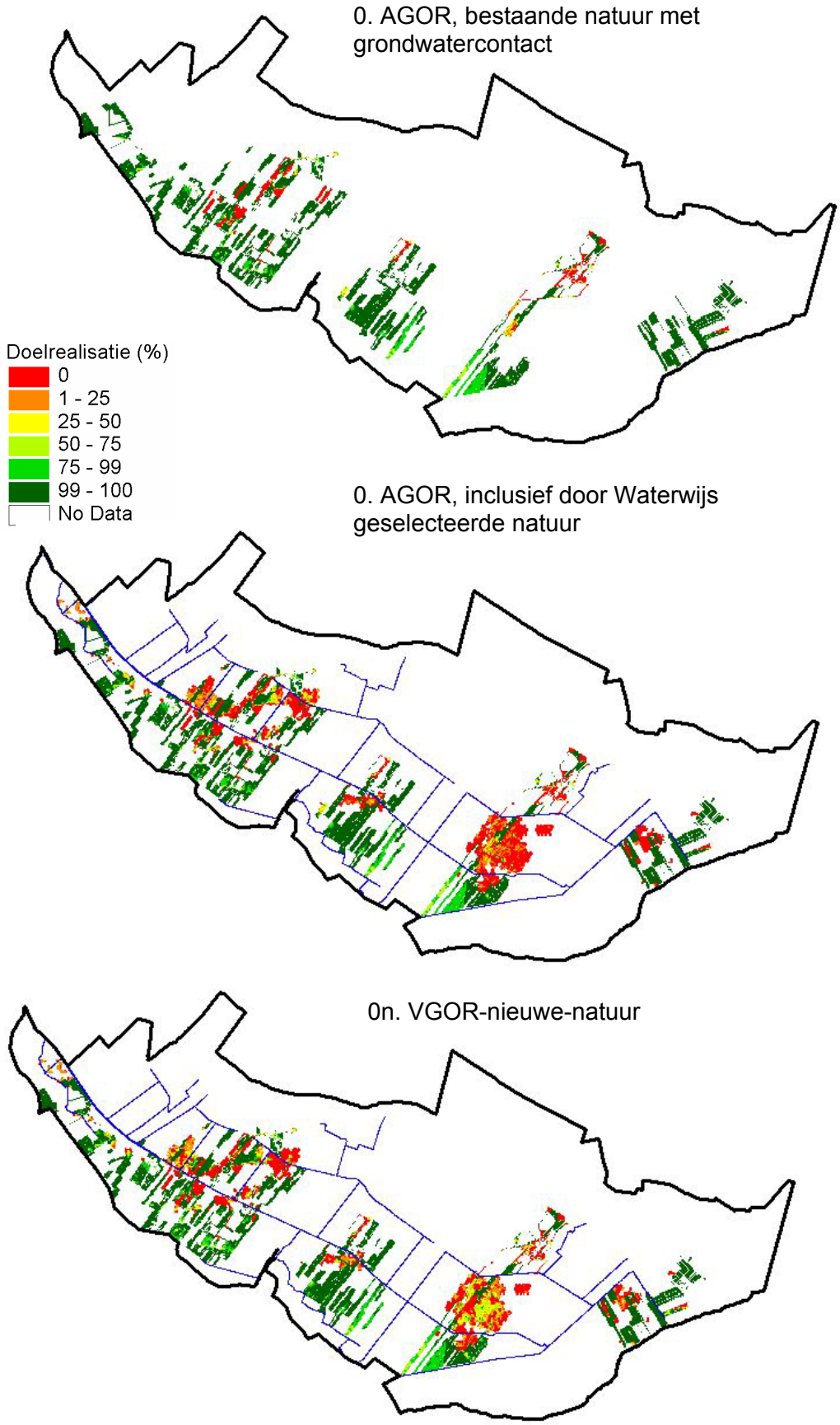


Maatregel
Zelfde als variant 1
Afwijkend

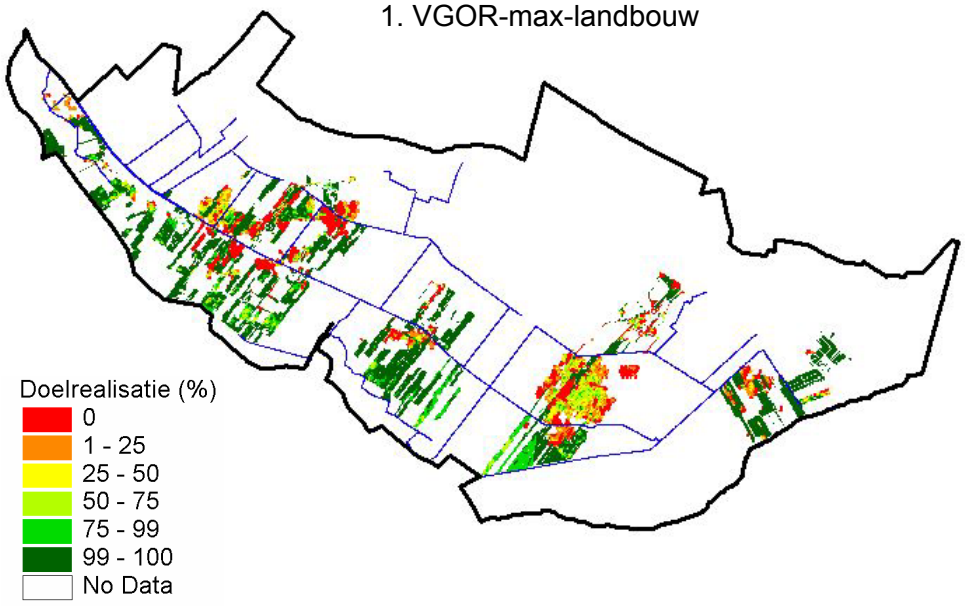
Natuur



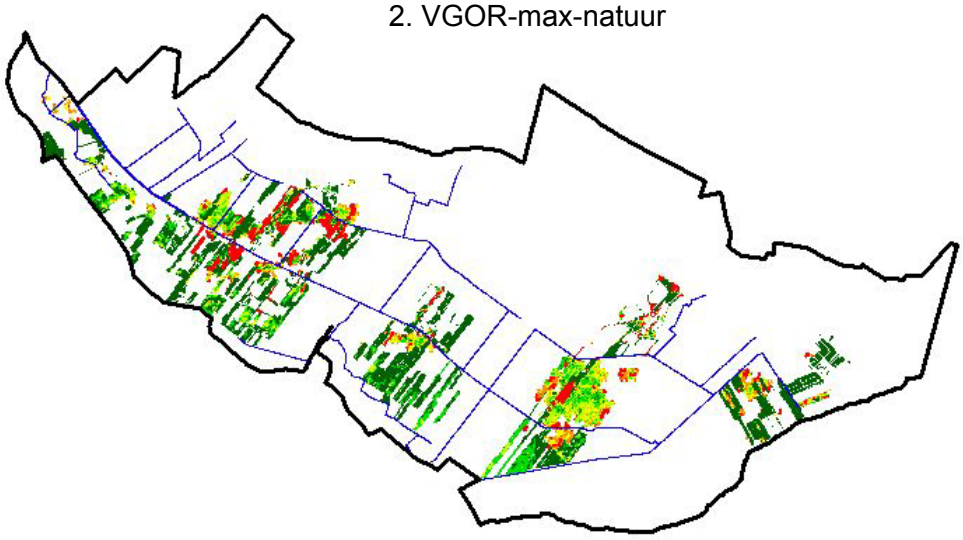
Aanhangsel 10 Natuurdoelrealisaties maatregelvarianten landbouw



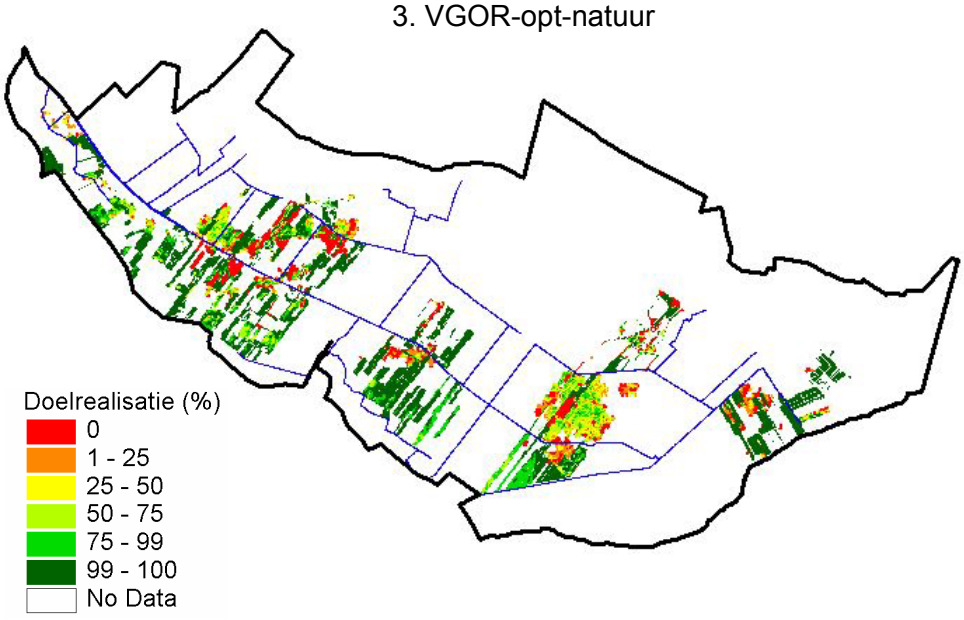
1. VGOR-max-landbouw



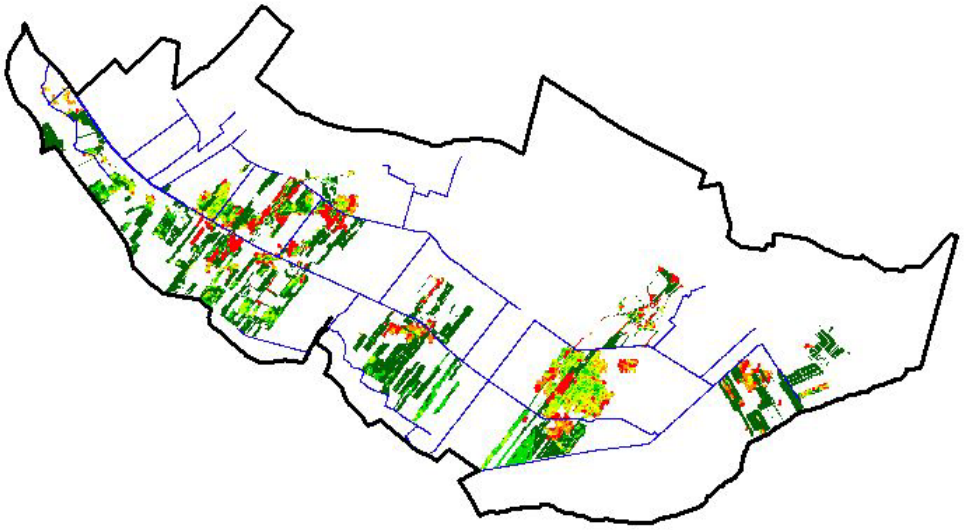
2. VGOR-max-natuur



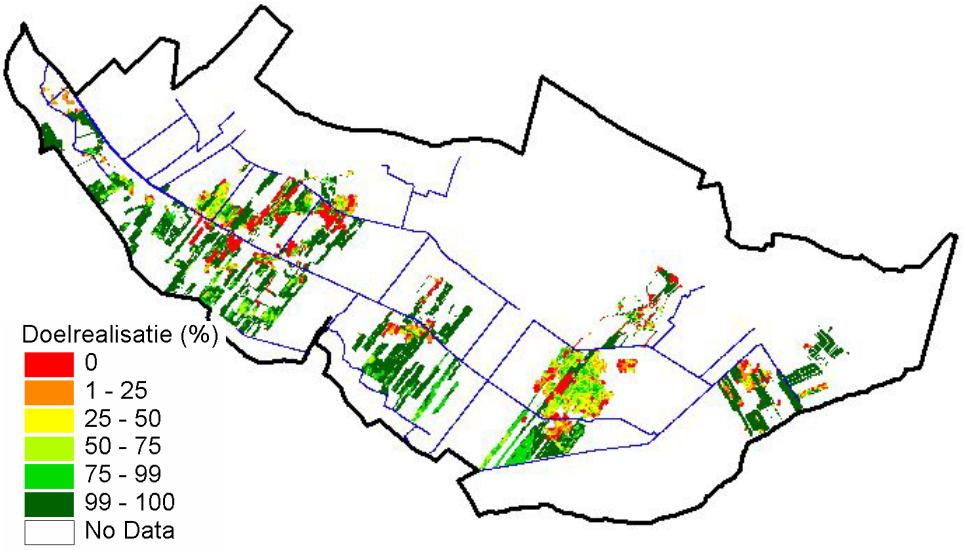
3. VGOR-opt-natuur



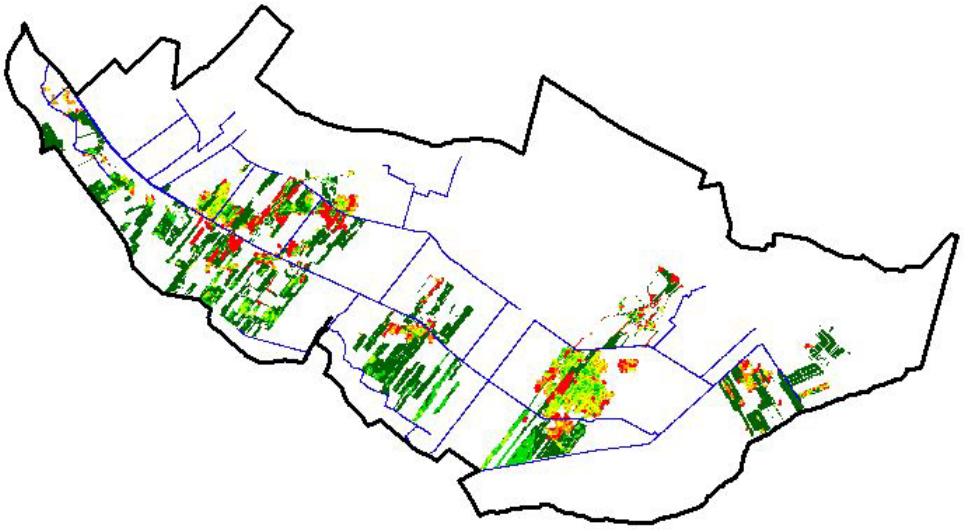
4. VGOR-opt-natuur-wb21



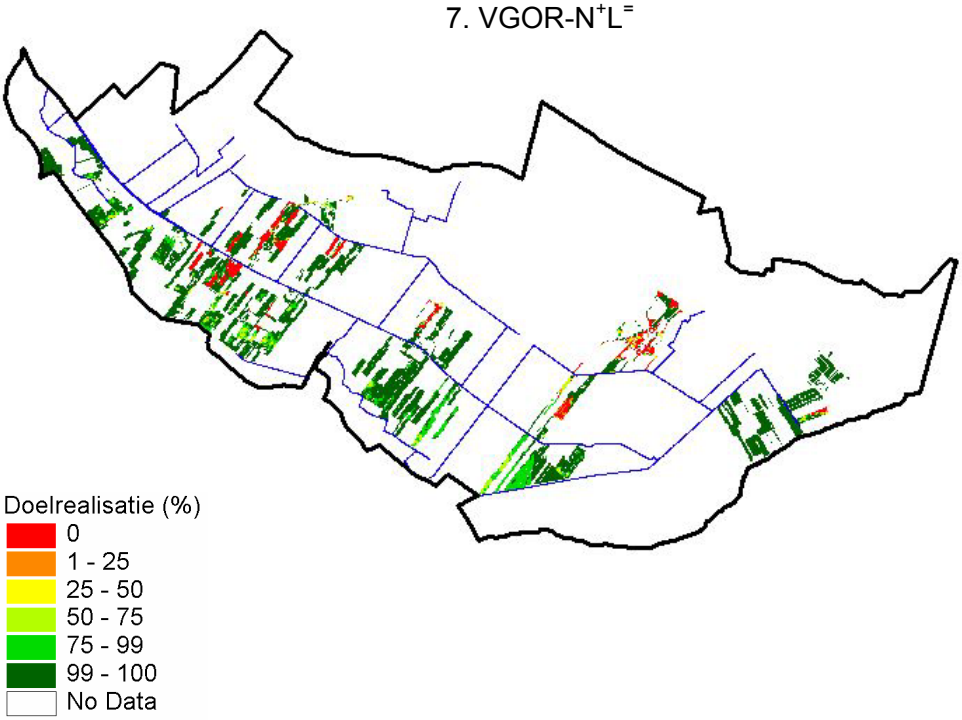
5. VGOR-mkopt-natuur



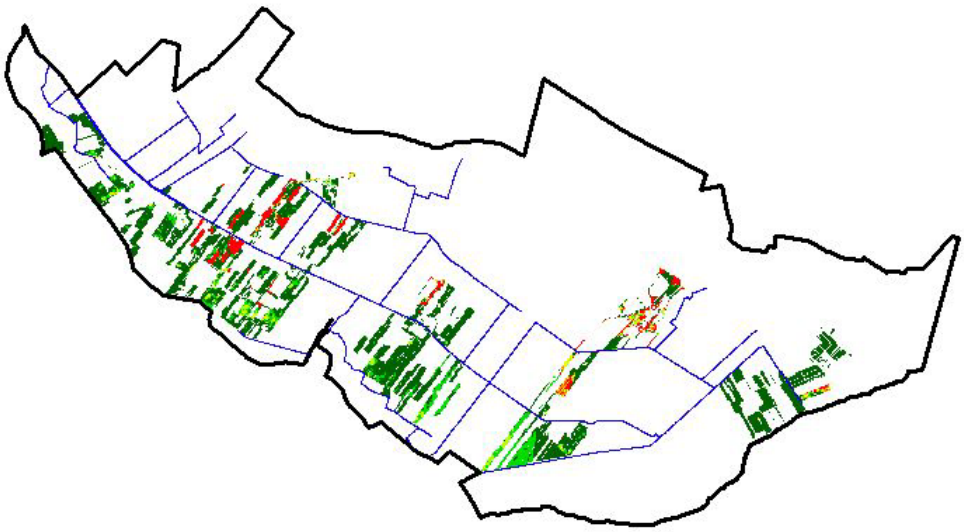
6. VGOR-mkopt-natuur-wb21



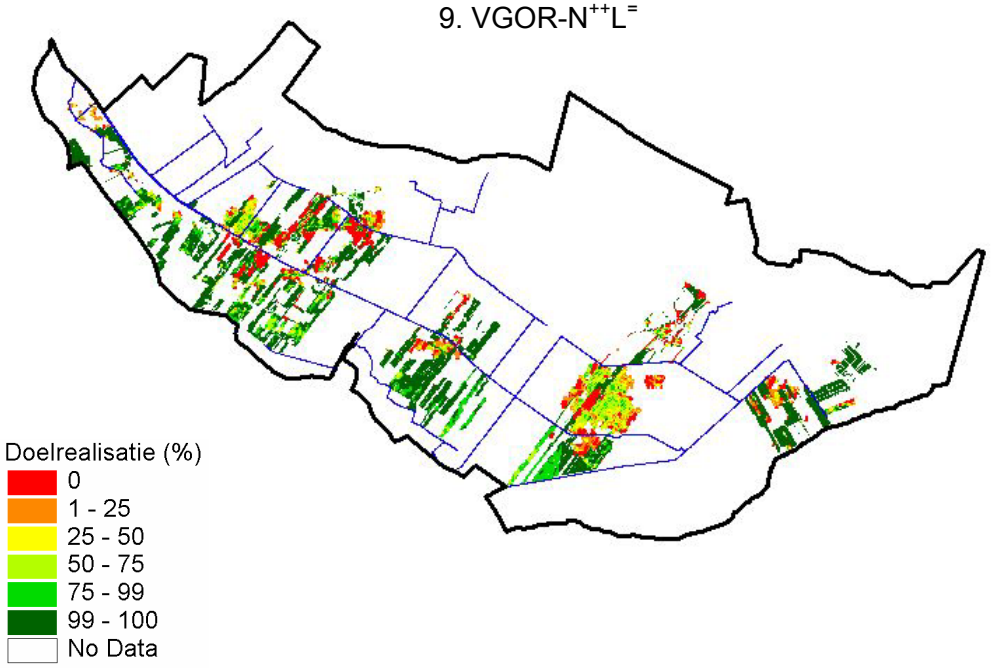
7. VGOR-$N^{+}L^{=}$



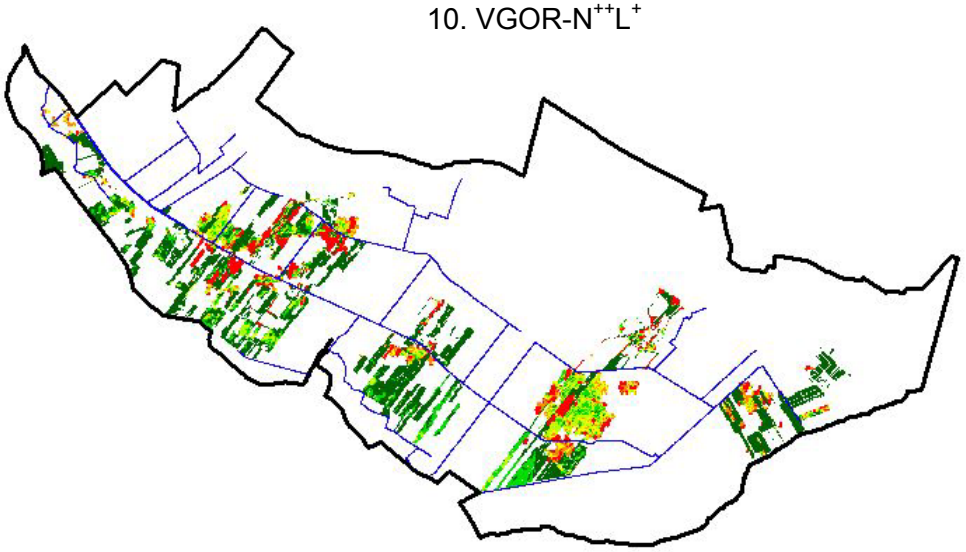
8. VGOR-$N^{+}L^{+}$



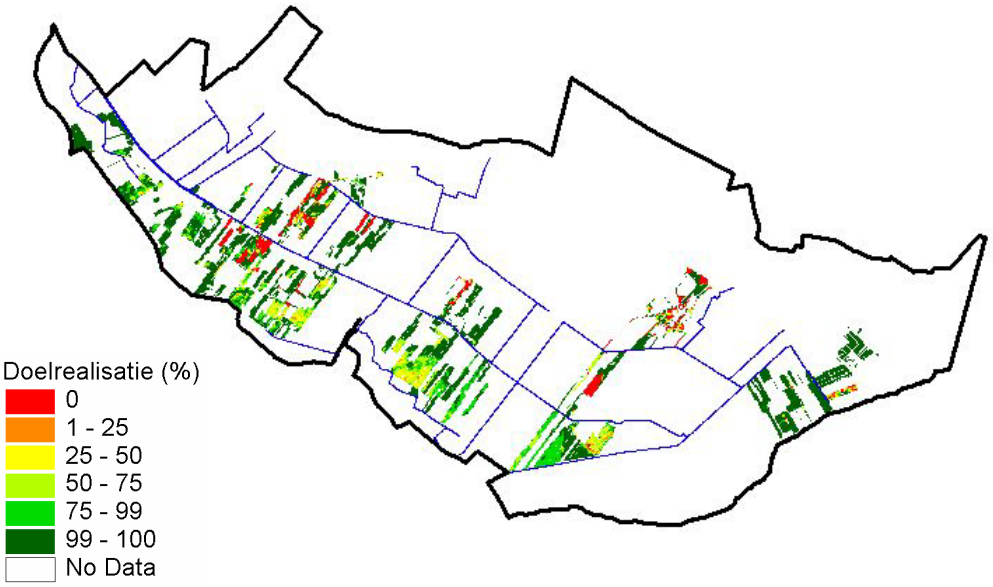
9. VGOR-$N^{++}L^{=}$



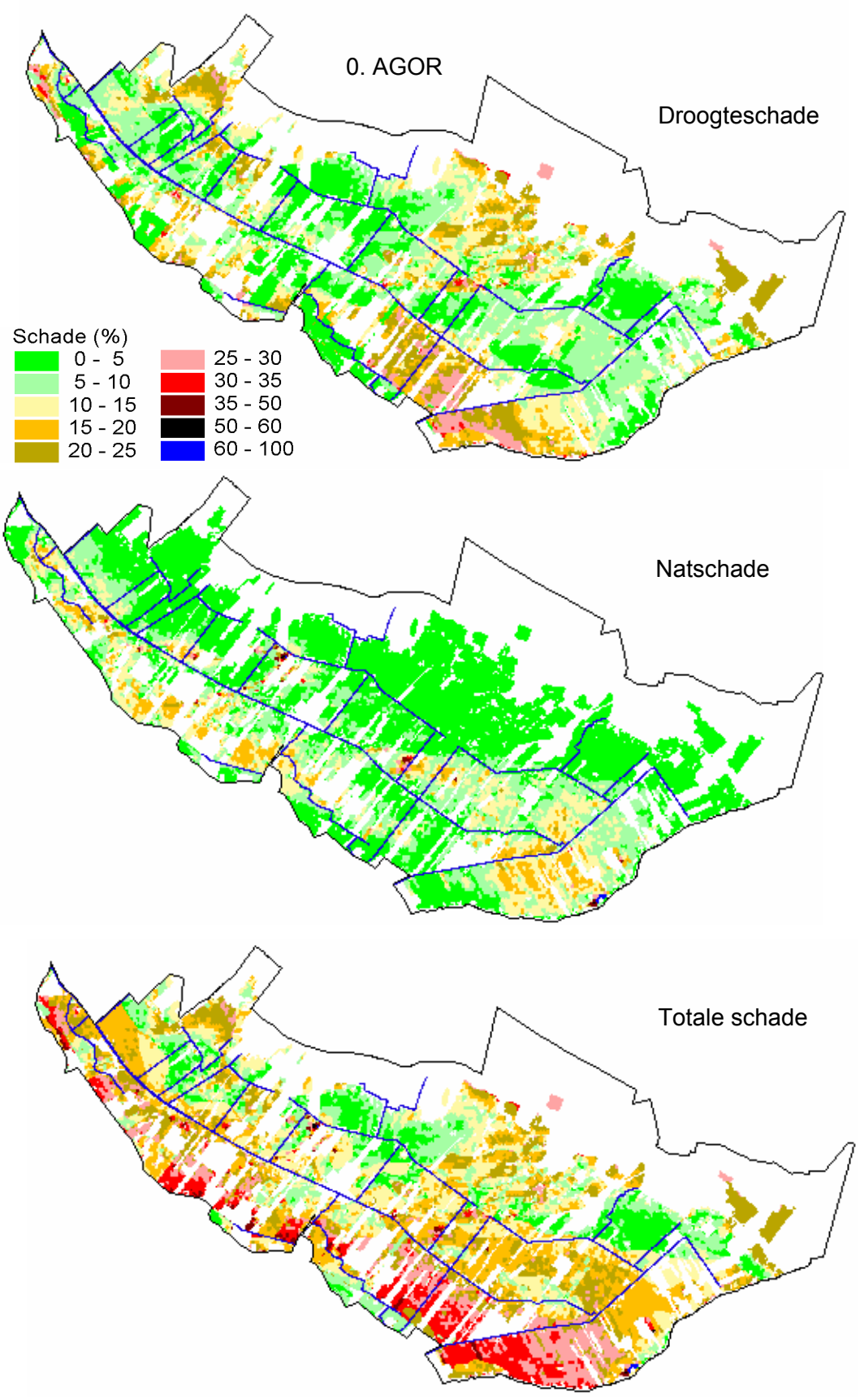
10. VGOR-$N^{++}L^{+}$



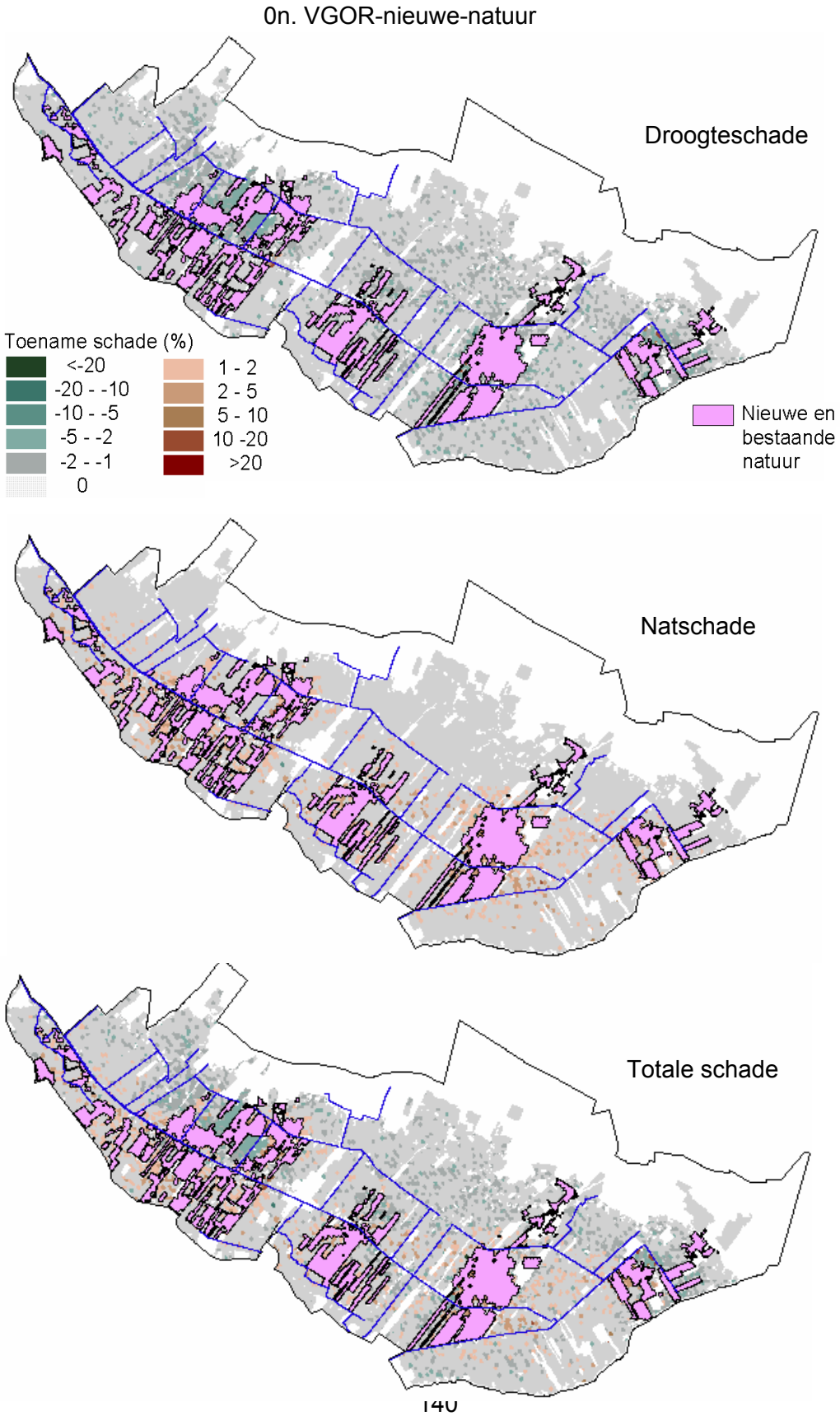
11. Voorkeursvariant

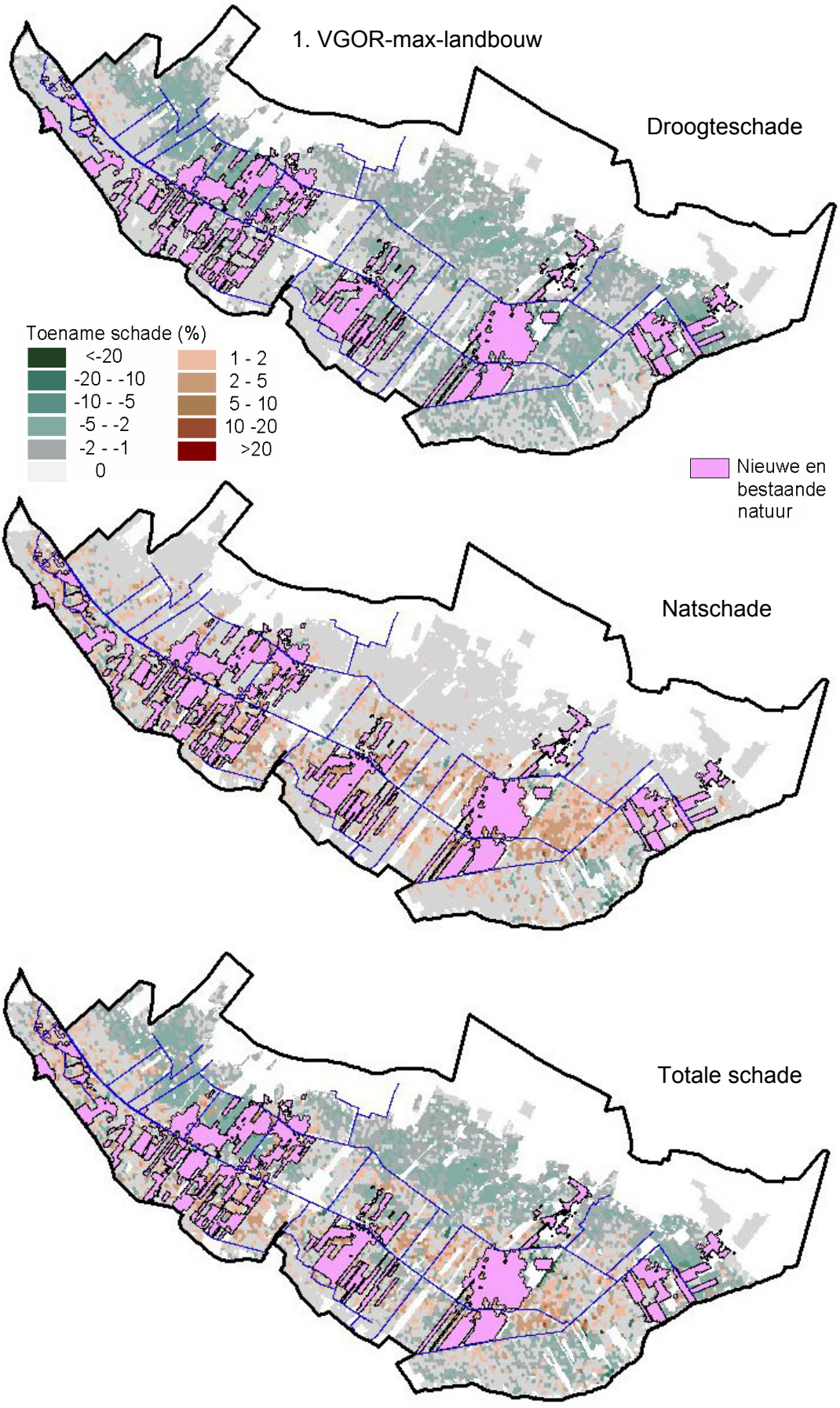


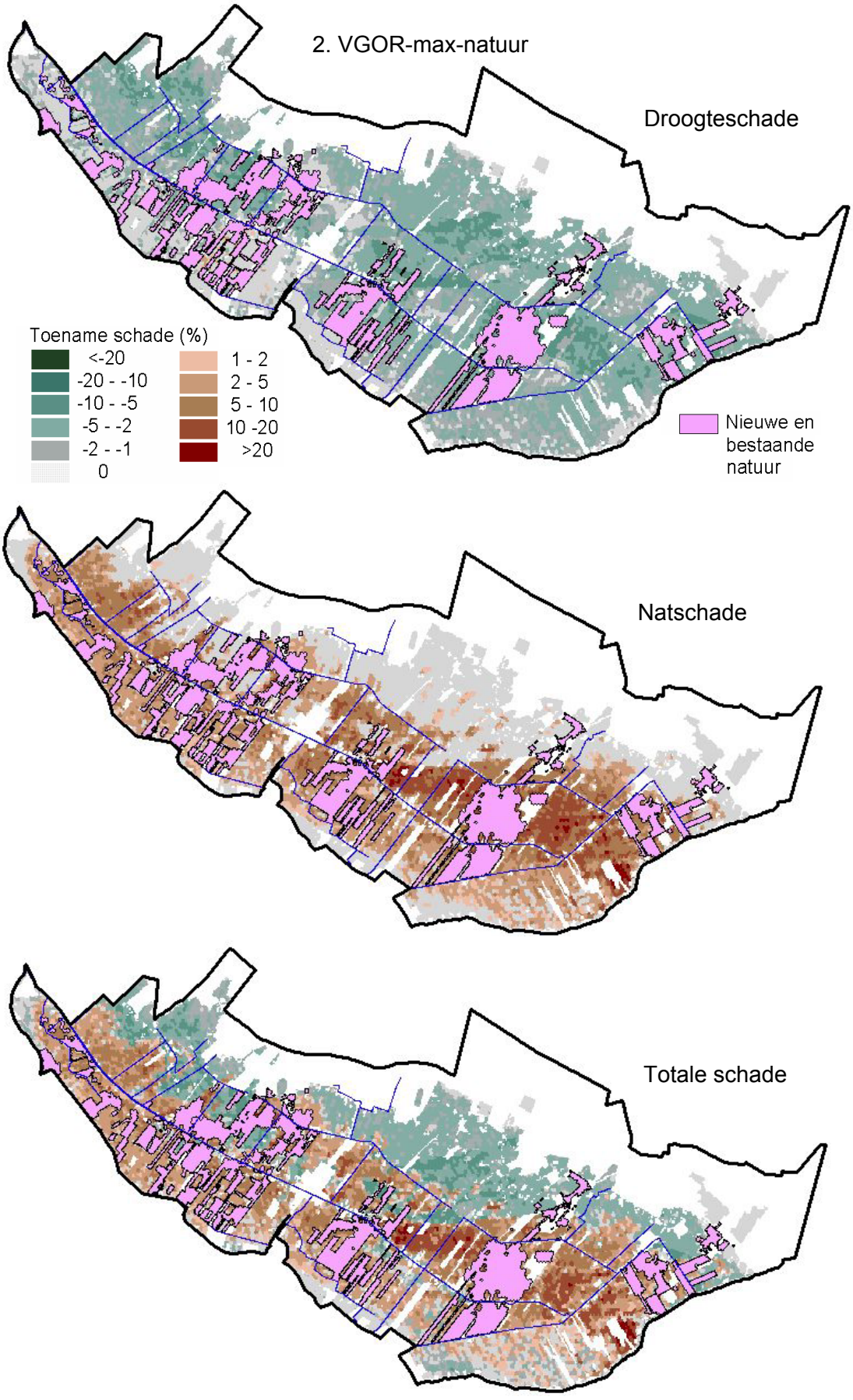
Aanhangsel 11 Landbouwschades



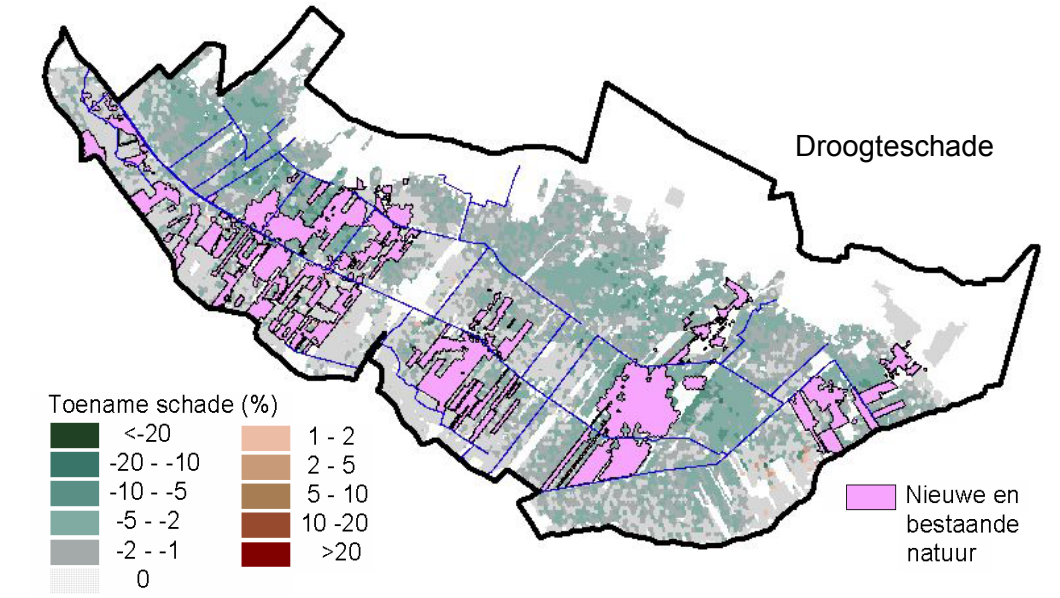
Onder “nieuwe en bestaande natuur” wordt hier verstaan de bestaande natuur plus de binnen het zoekgebied geselecteerde natuur (hoofdstuk 3, Figuur 26a) voor de Waterwijsruns

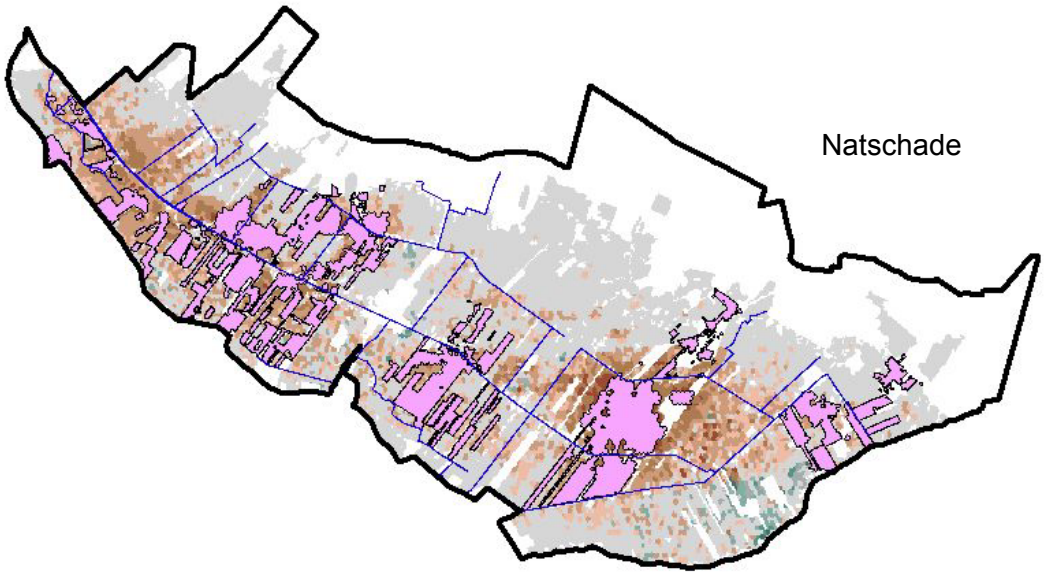


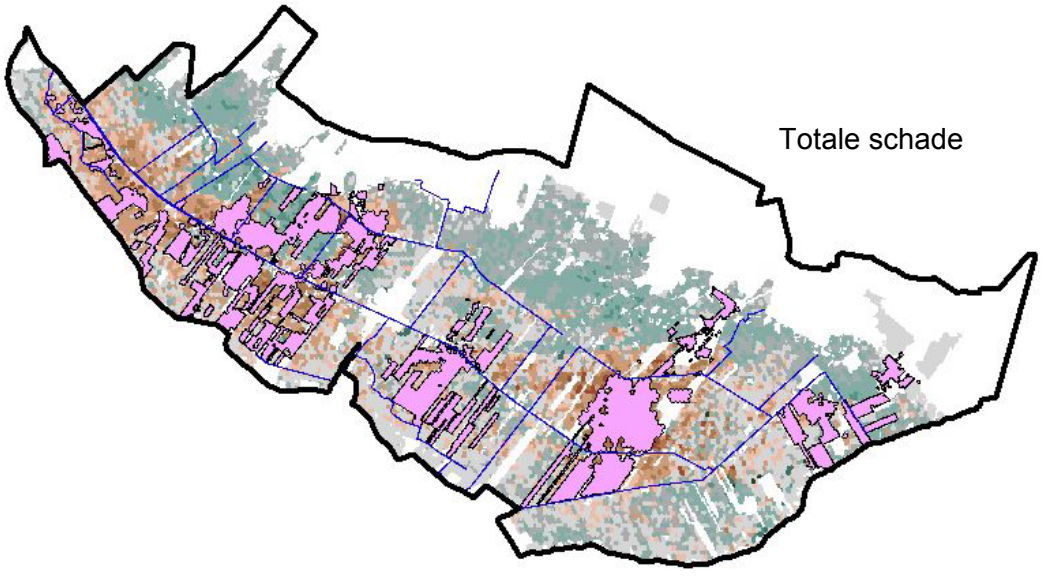

1. VGOR-max-landbouw
Droogteschade
Toename schade (%)
<-20
-20 - -10
-10 - -5
-5 - -2
-2 - -1
0
1 - 2
2 - 5
5 - 10
10 -20
>20
Nieuwe en bestaande natuur
Natschade
Totale schade


2. VGOR-max-natuur
Droogteschade
Toename schade (%)
<-20
-20 - -10
-10 - -5
-5 - -2
-2 - -1
0
1 - 2
2 - 5
5 - 10
10 -20
>20
Nieuwe en bestaande natuur
Natschade
Totale schade

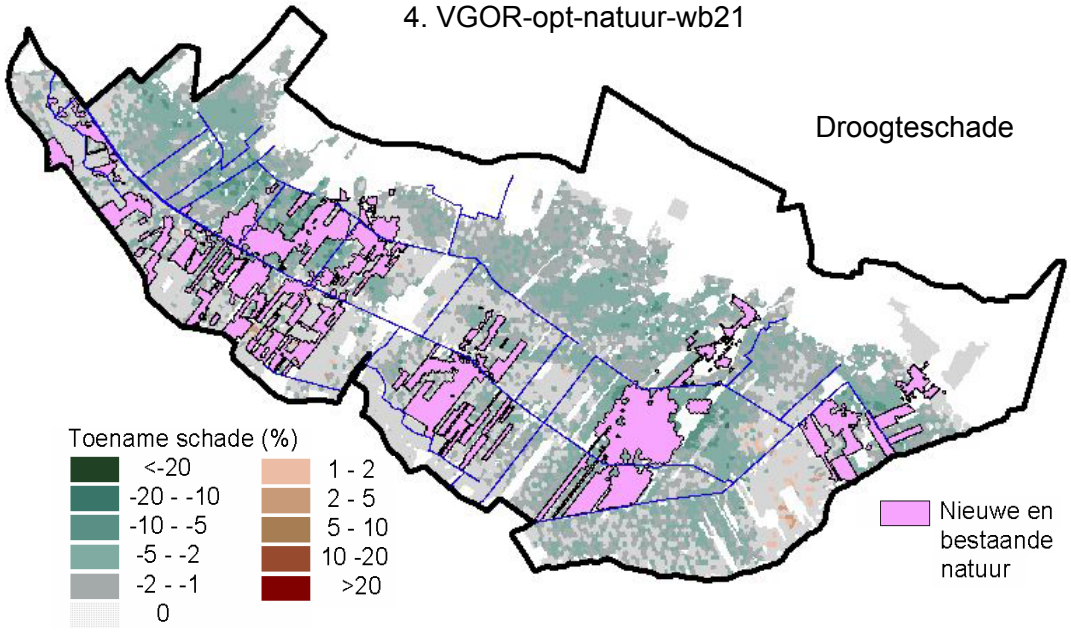
3. VGOR-opt-natuur

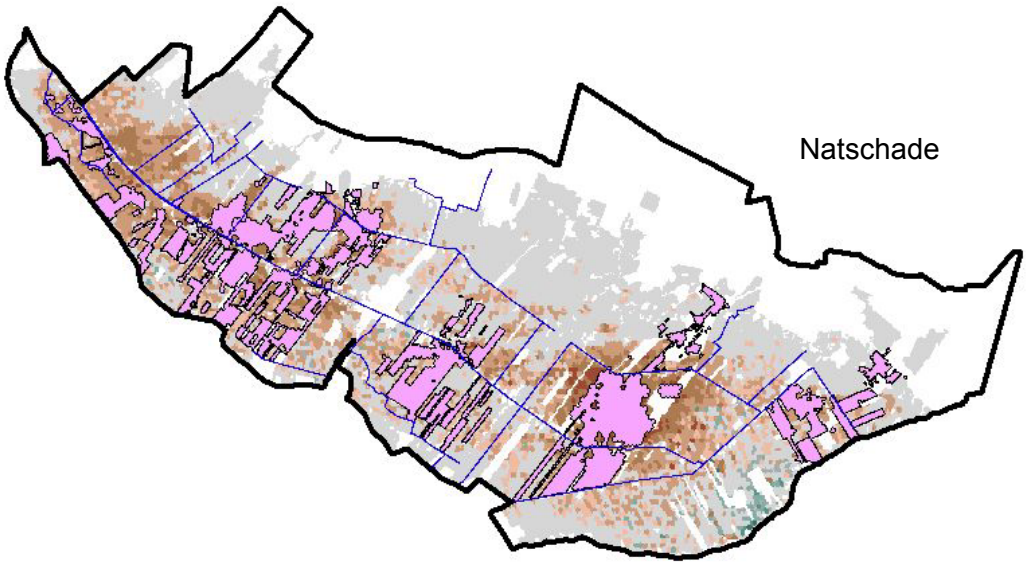


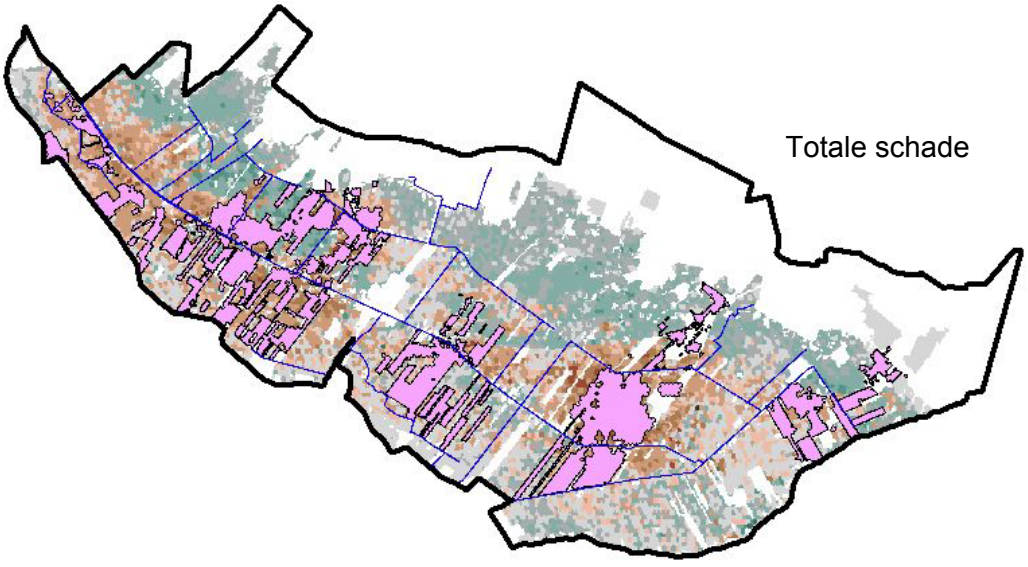


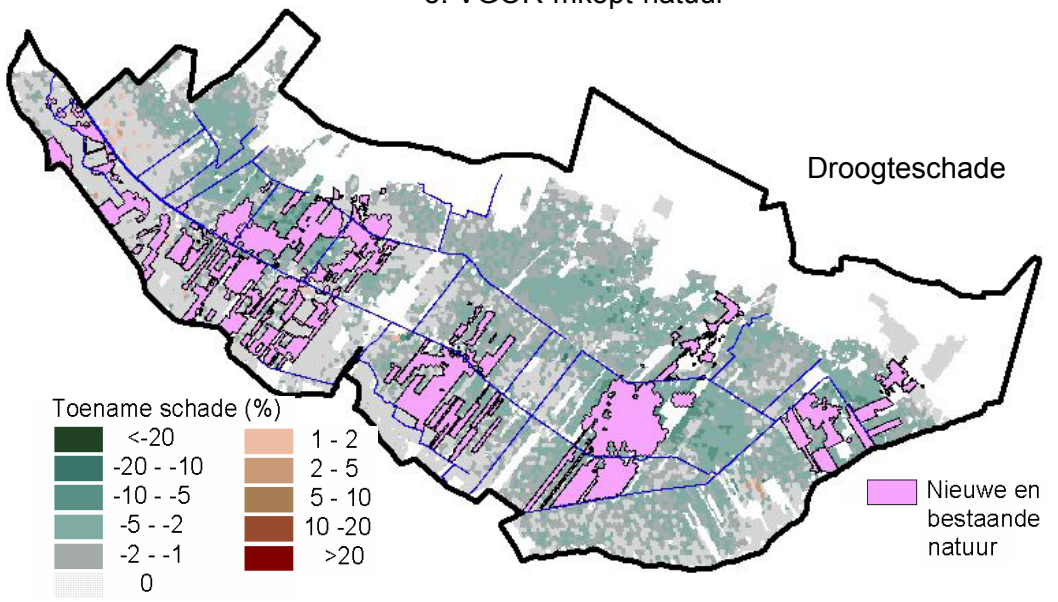


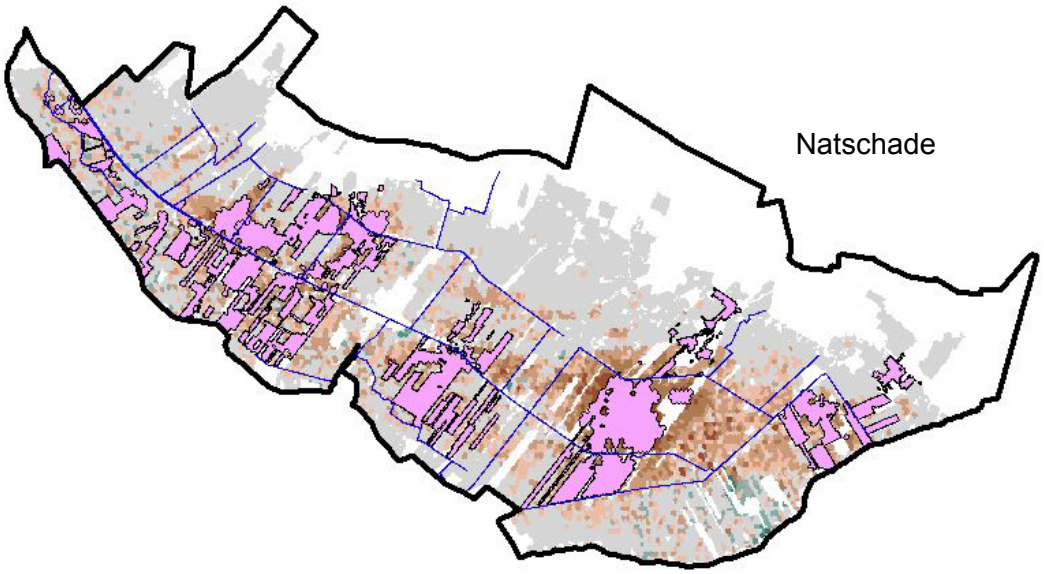
4. VGOR-opt-natuur-wb21

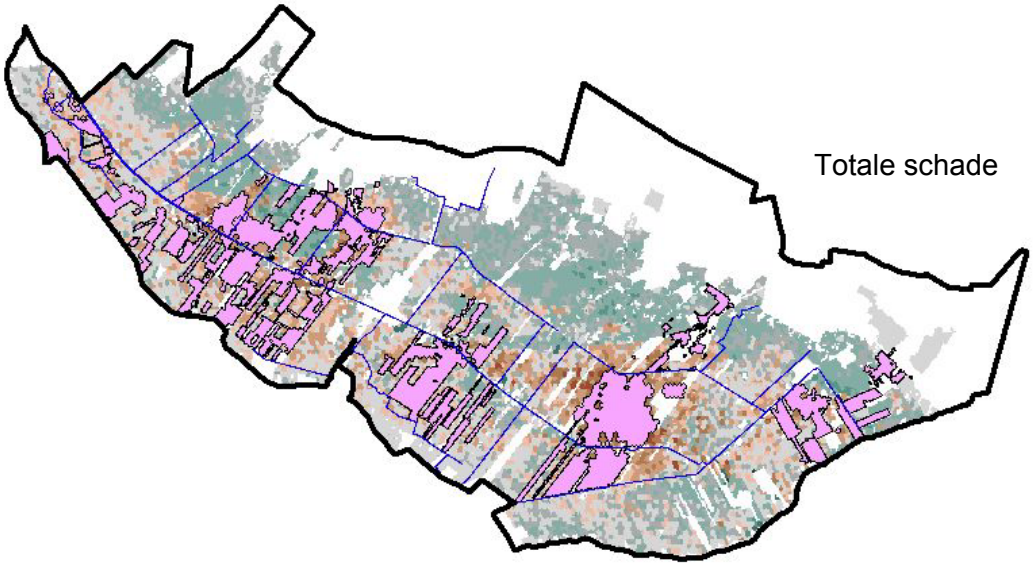


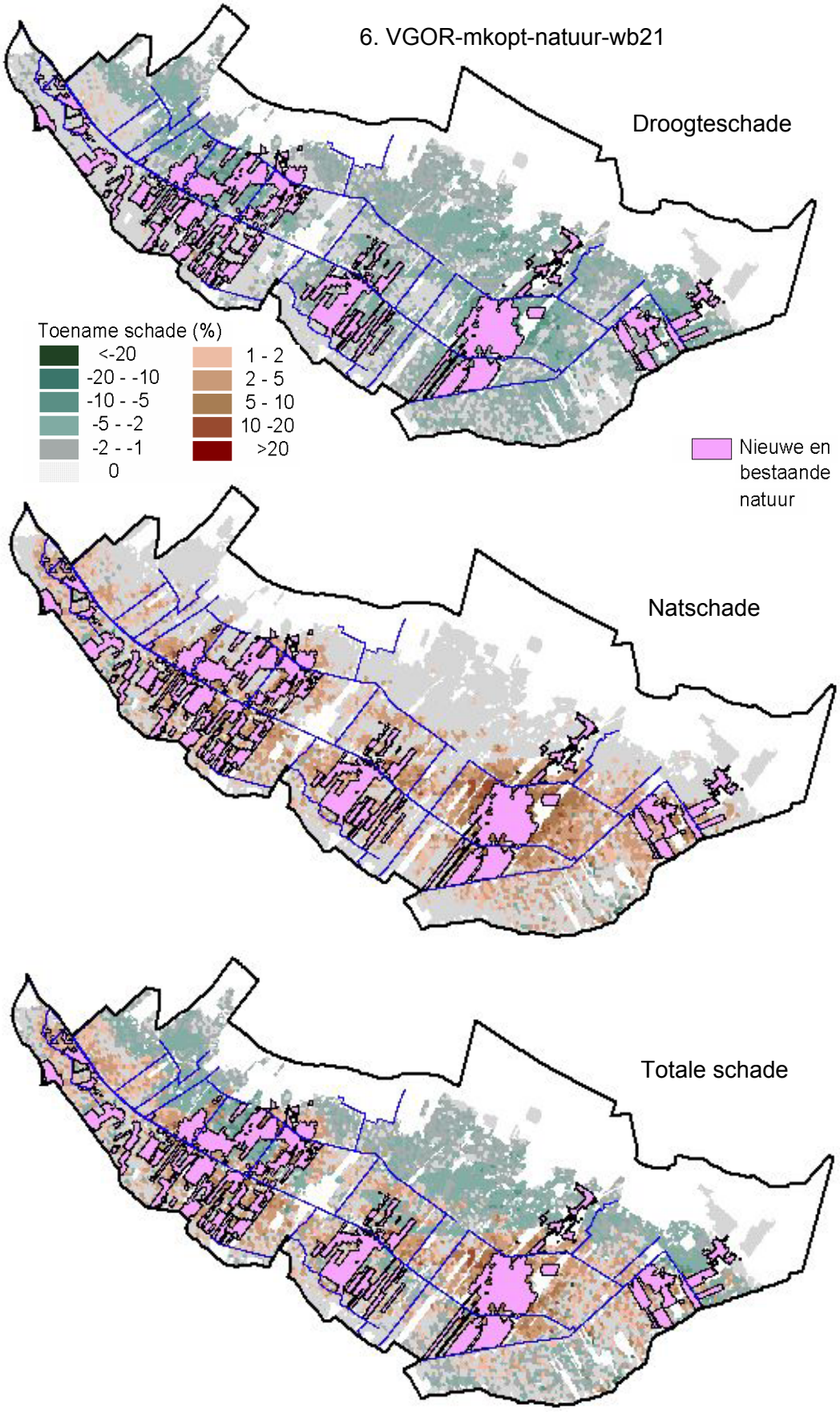


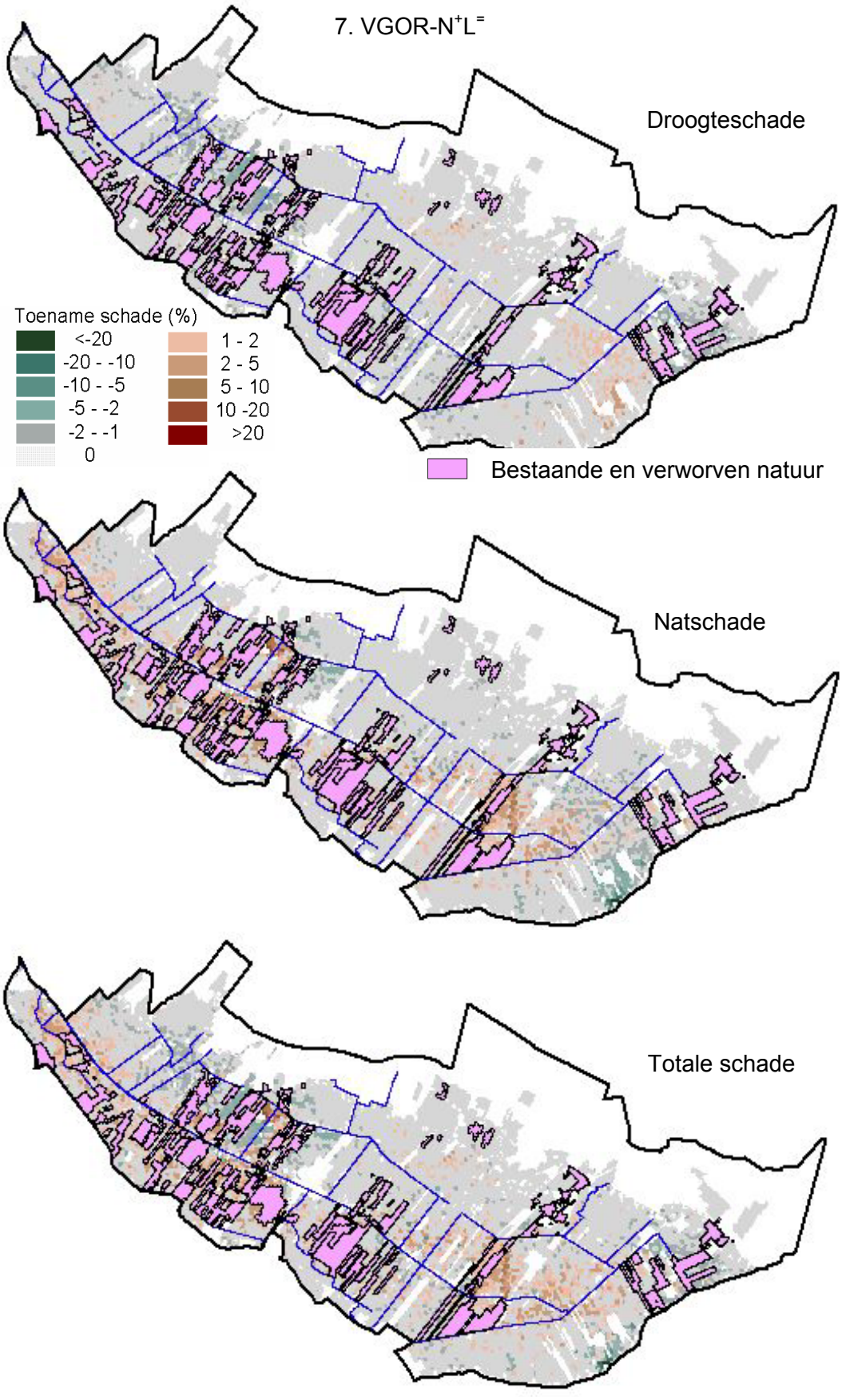


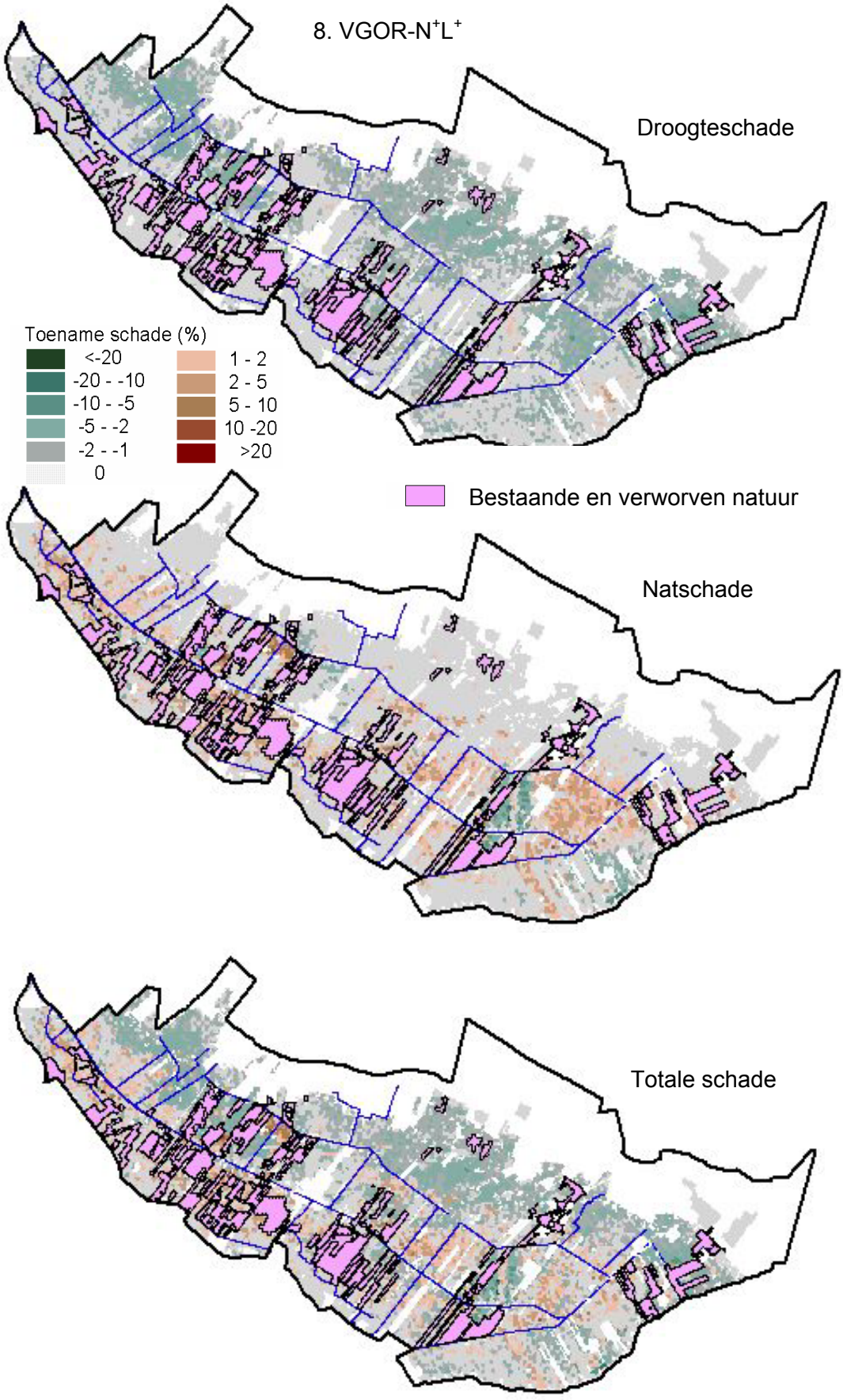

Droogteschade
Toename schade (%)
<-20
-20 - -10
-10 - -5
-5 - -2
-2 - -1
0
1 - 2
2 - 5
5 - 10
10 -20
>20
Nieuwe en bestaande natuur

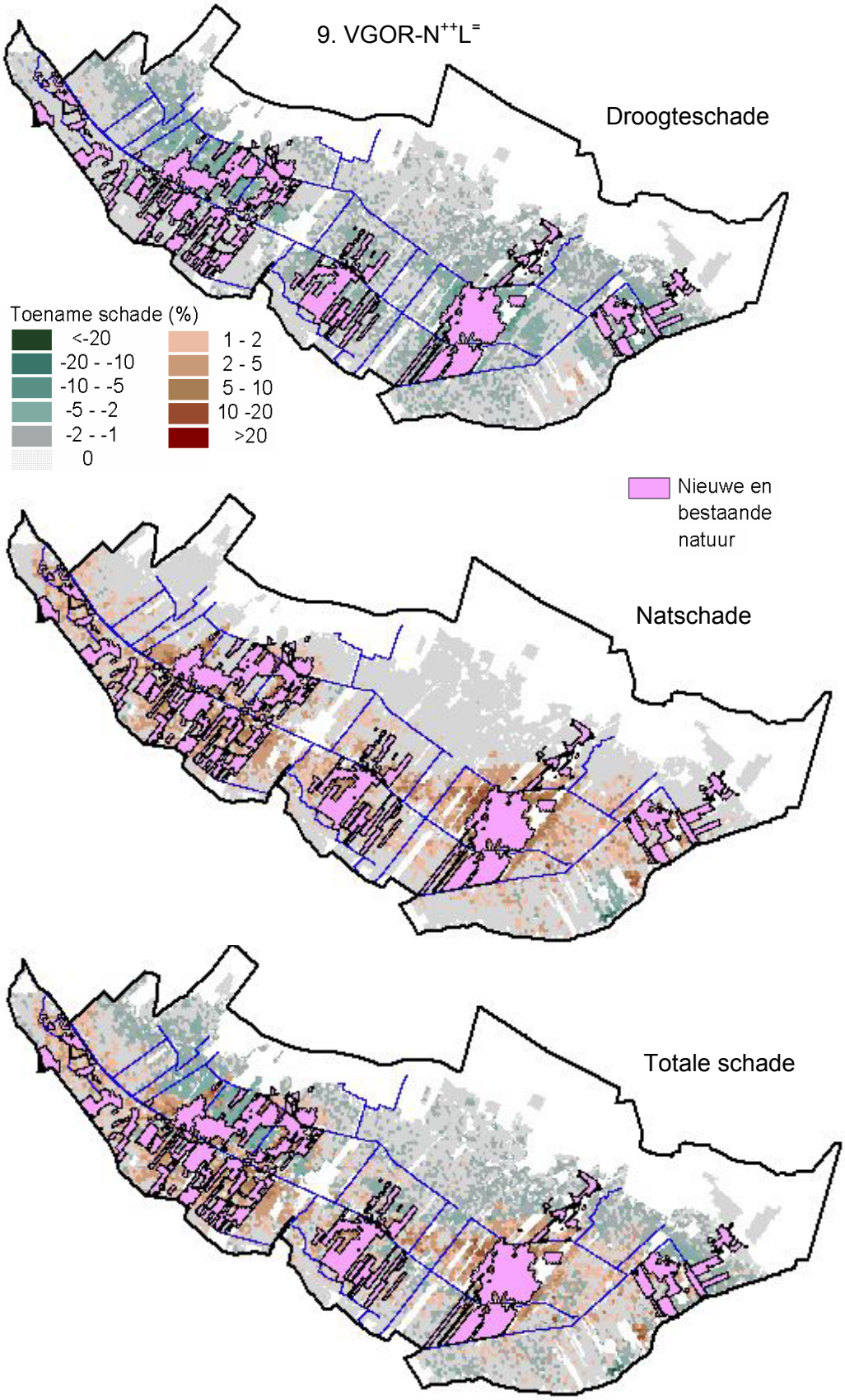

Natschade

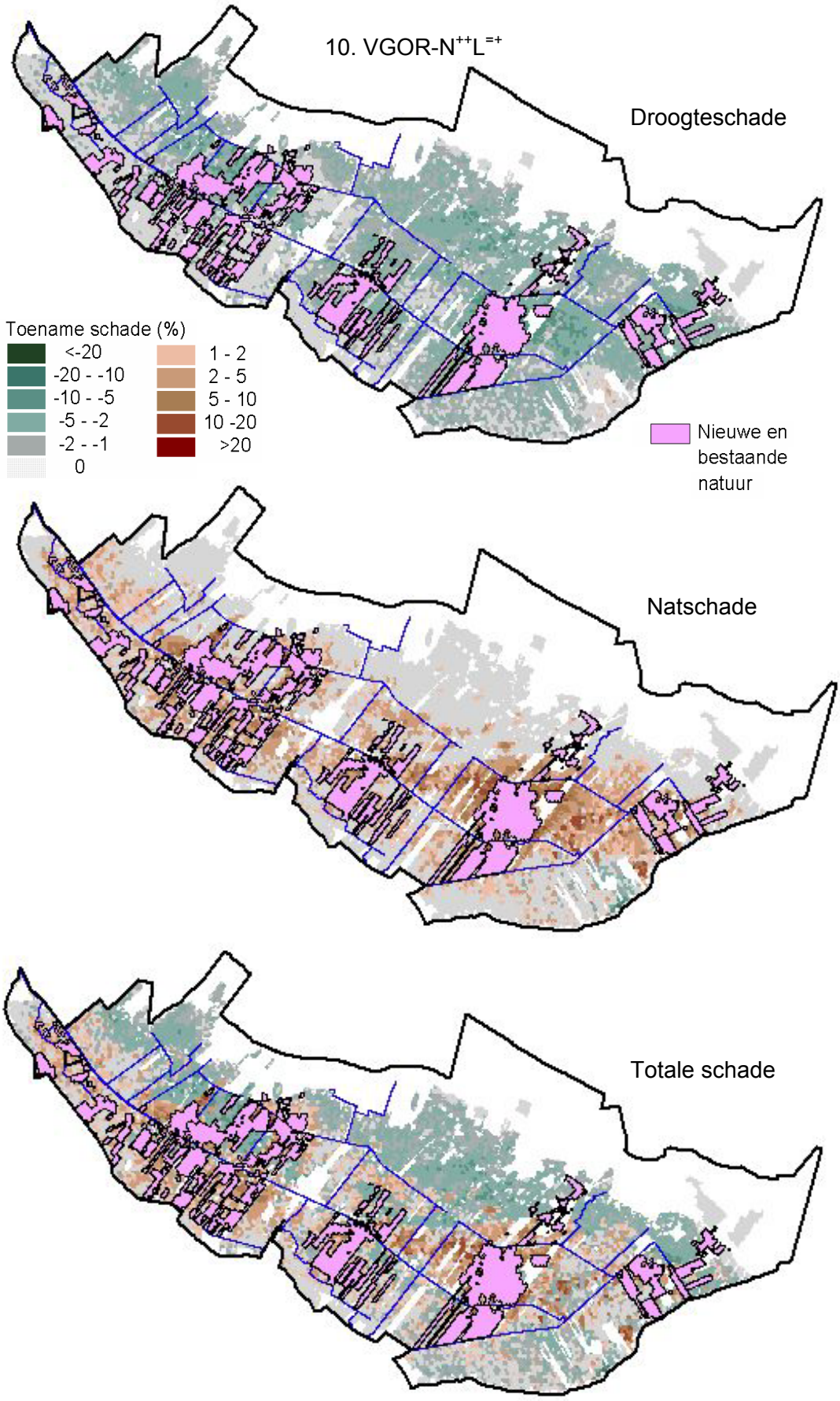

Totale schade


6. VGOR-mkopt-natuur-wb21
Droogteschade
Toename schade (%)
<-20
-20 - -10
-10 - -5
-5 - -2
-2 - -1
0
1 - 2
2 - 5
5 - 10
10 -20
>20
Nieuwe en bestaande natuur
Natschade
Totale schade

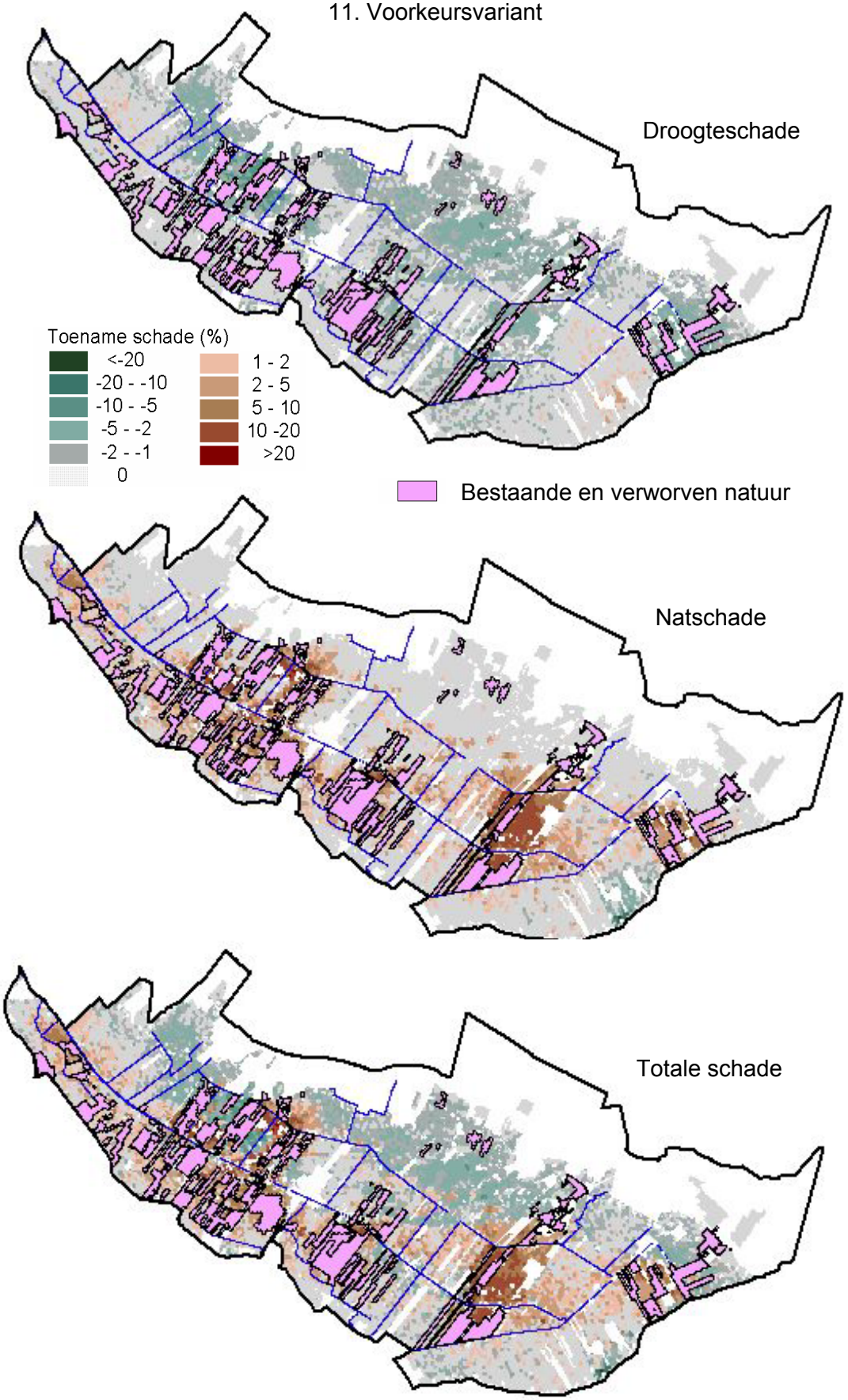

7. VGOR-N+L=
Droogteschade
Toename schade (%)
<-20
-20 - -10
-10 - -5
-5 - -2
-2 - -1
0
1 - 2
2 - 5
5 - 10
10 -20
>20
Bestaande en verworven natuur
Natschade
Totale schade


8. VGOR-N+L+
Droogteschade
Toename schade (%)
<-20
-20 - -10
-10 - -5
-5 - -2
-2 - -1
0
1 - 2
2 - 5
5 - 10
10 -20
>20
Bestaande en verworven natuur
Natschade
Totale schade


9. VGOR-N++L=
Droogteschade
Toename schade (%)
<-20
-20 - -10
-10 - -5
-5 - -2
-2 - -1
0
1 - 2
2 - 5
5 - 10
10 -20
>20
Nieuwe en bestaande natuur
Natschade
Totale schade

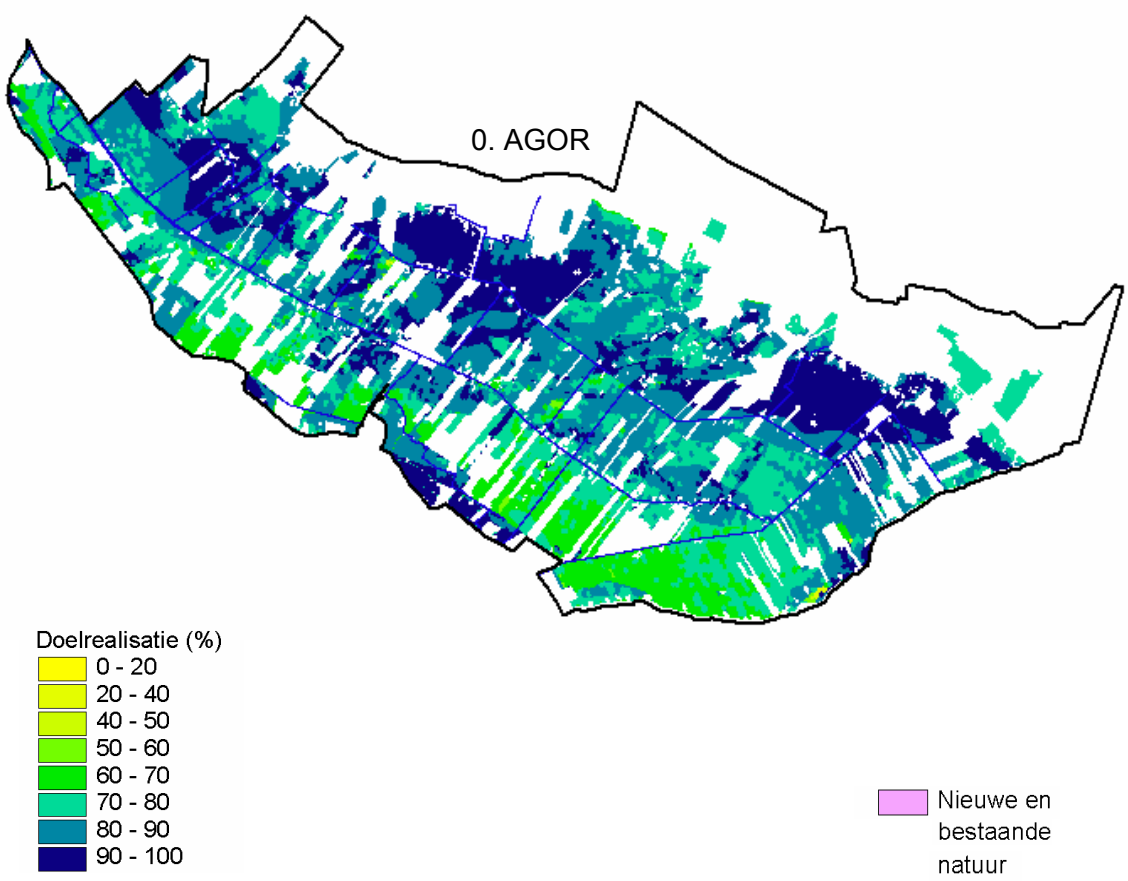

10. VGOR-N++L=+
Droogteschade
Toename schade (%)
<-20
-20 - -10
-10 - -5
-5 - -2
-2 - -1
0
1 - 2
2 - 5
5 - 10
10 -20
>20
Nieuwe en bestaande natuur
Natschade
Totale schade

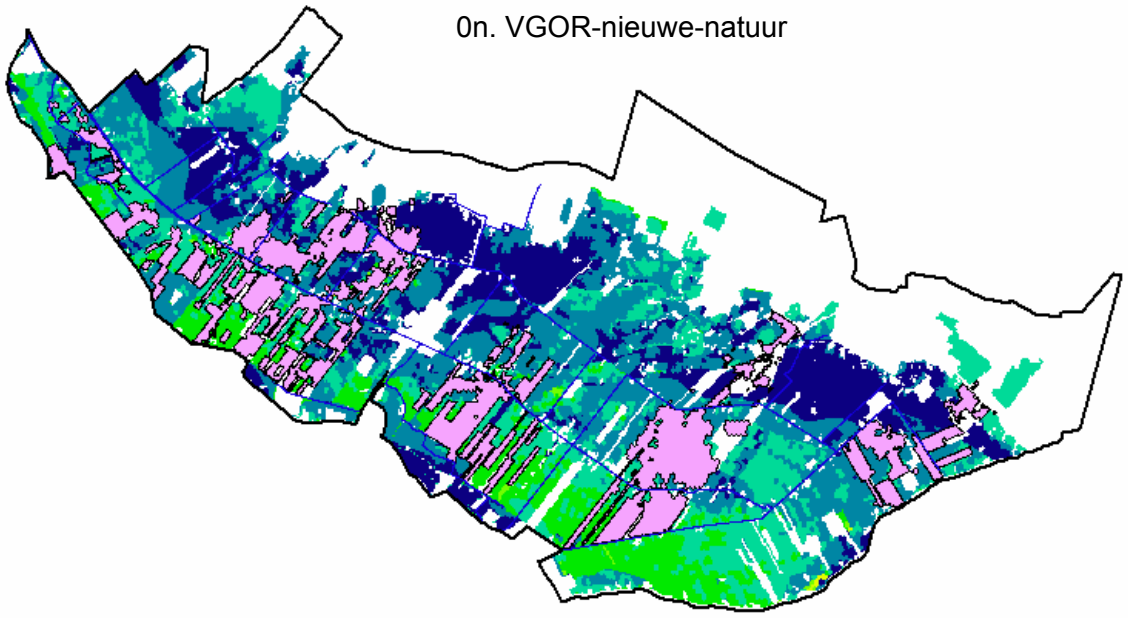
11. Voorkeursvariant



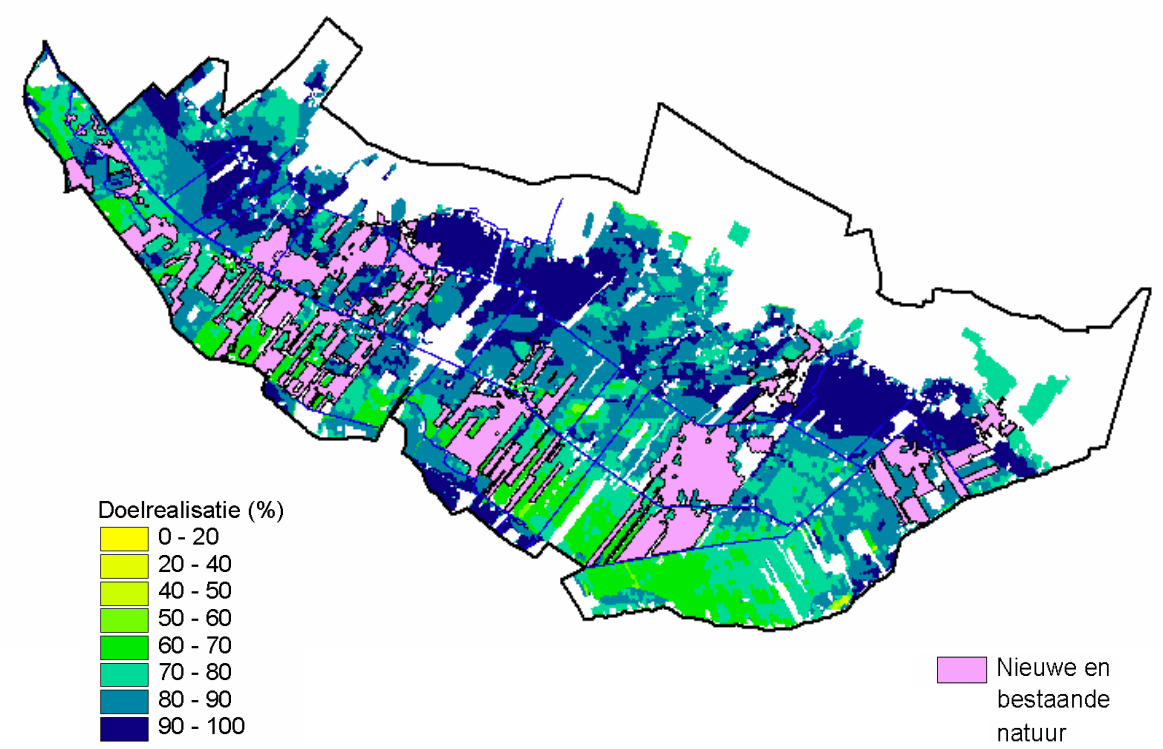
Aanhangsel 12 Landbouwdoelrealisaties

Onder "nieuwe en bestaande natuur" wordt hier verstaan de bestaande natuur plus de binnen het zoekgebied geselecteerde natuur (hoofdstuk 3, Figuur 26a) voor de Waterwijsruns

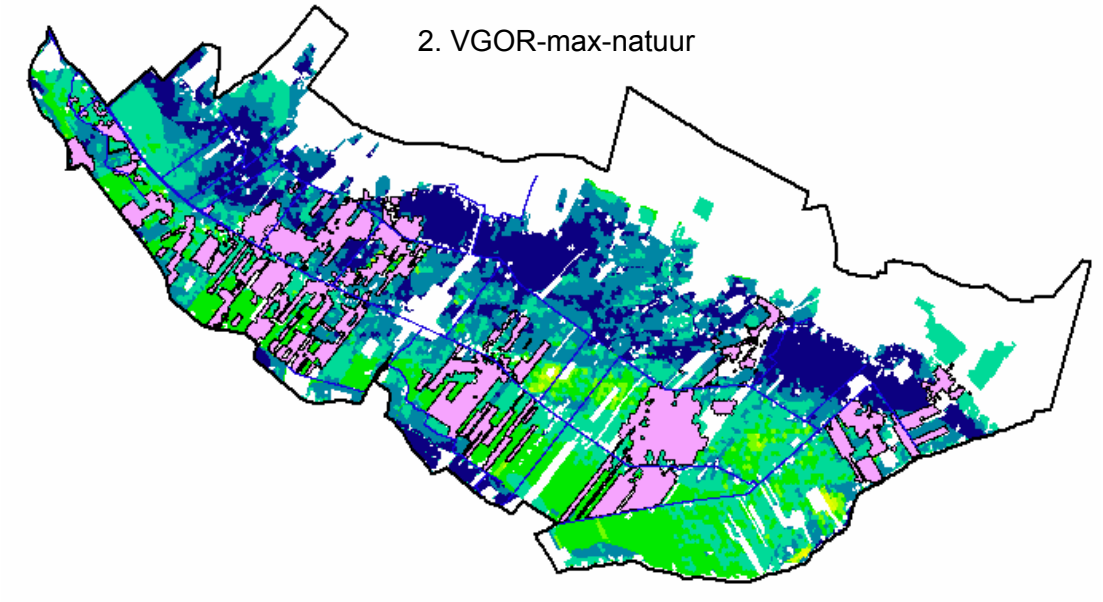




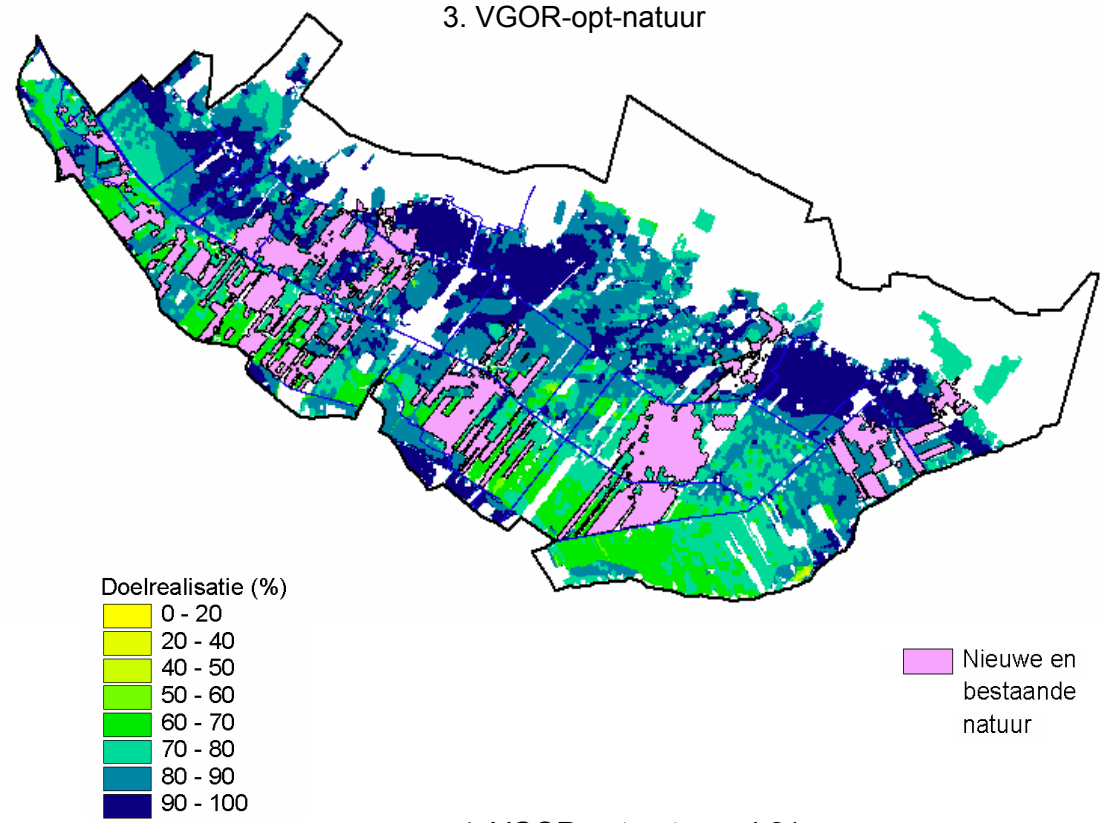
1. VGOR-max-landbouw



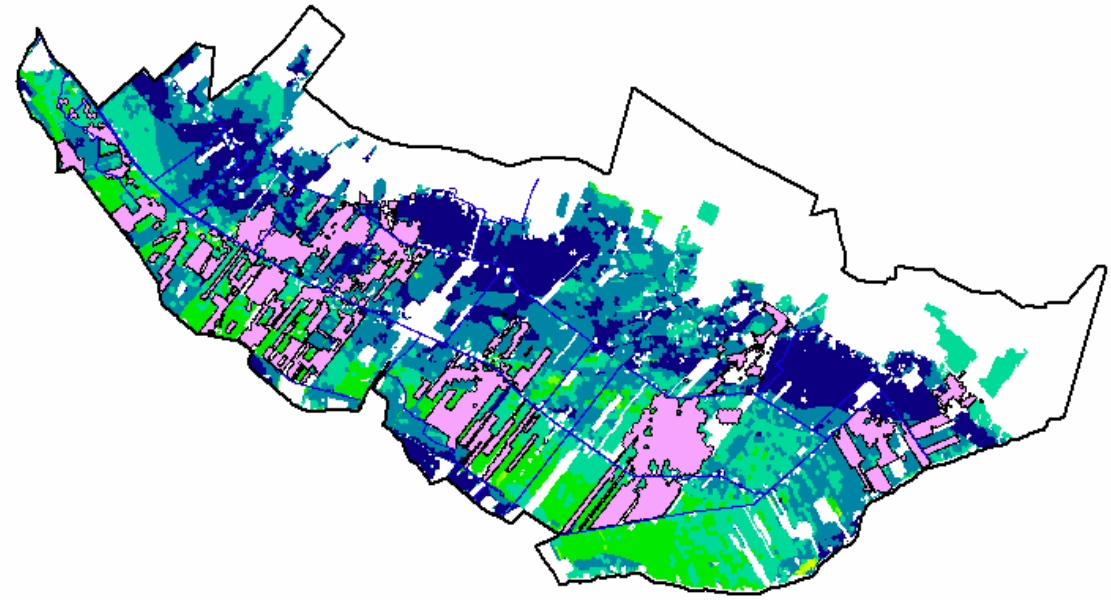
2. VGOR-max-natuur



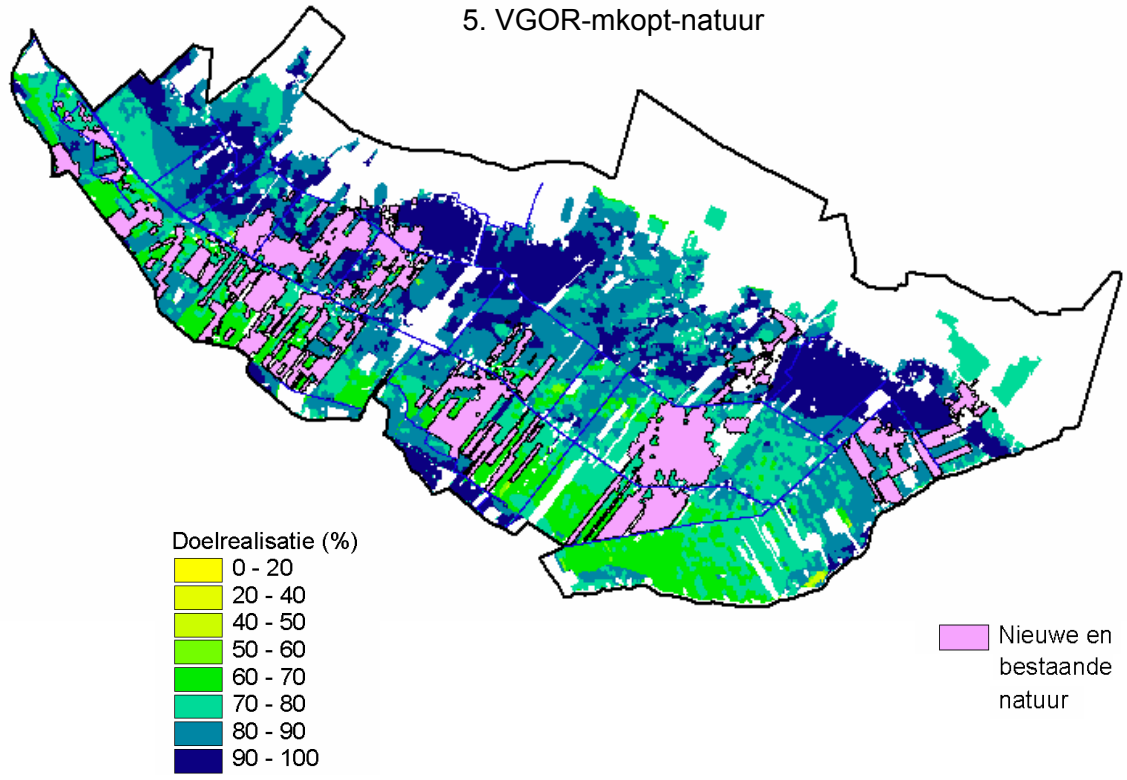
3. VGOR-opt-natuur



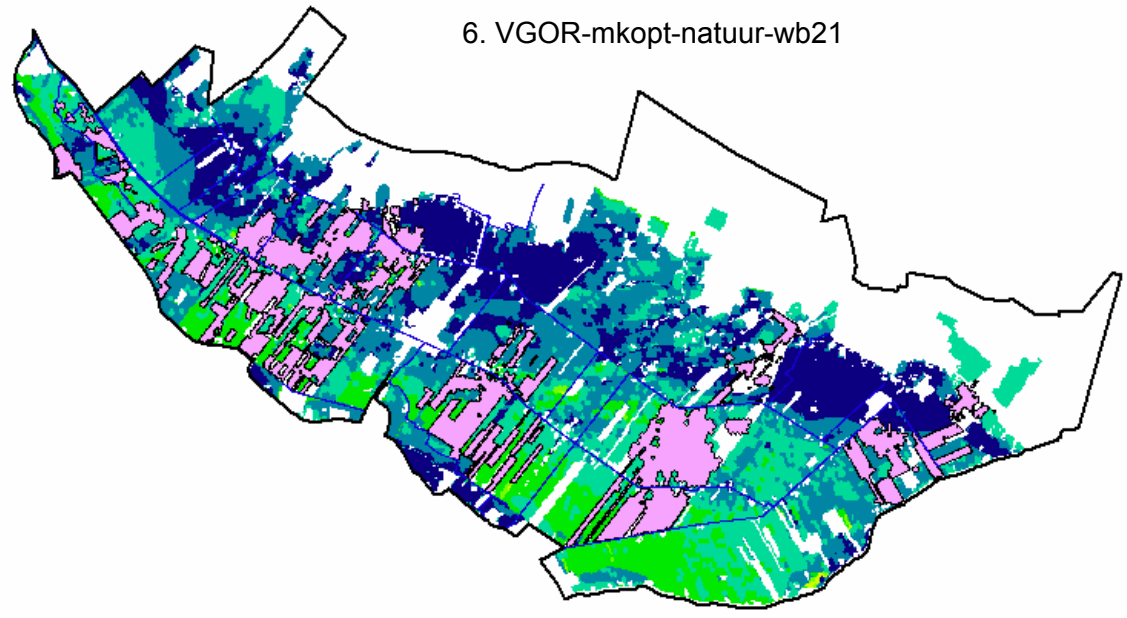
4. VGOR-opt-natuur-wb21



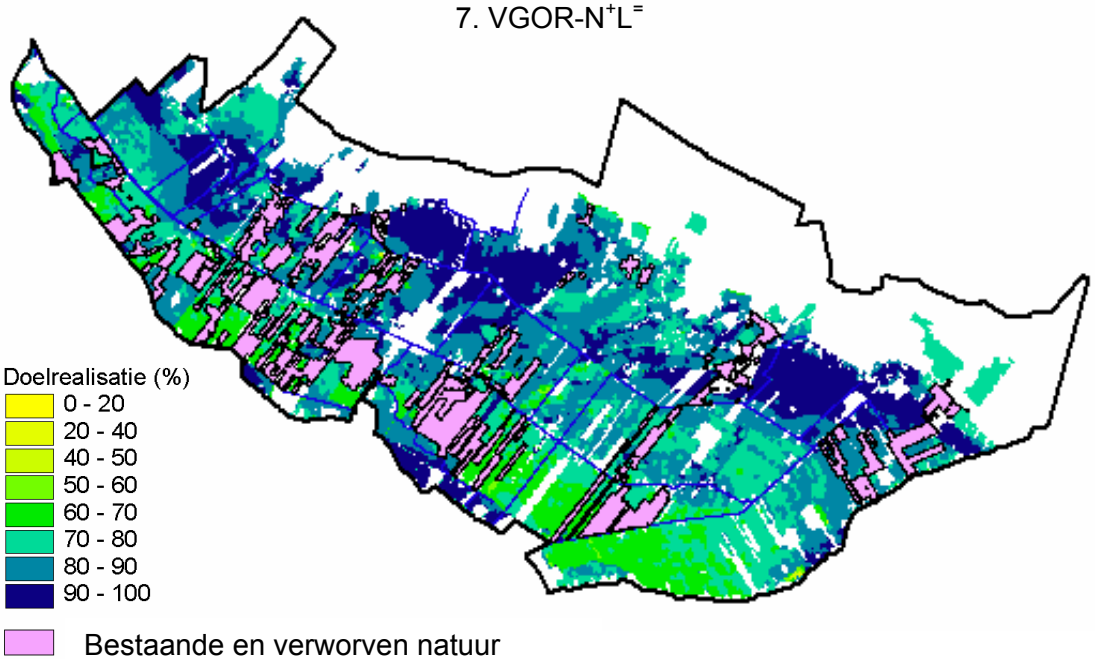
5. VGOR-mkopt-natuur



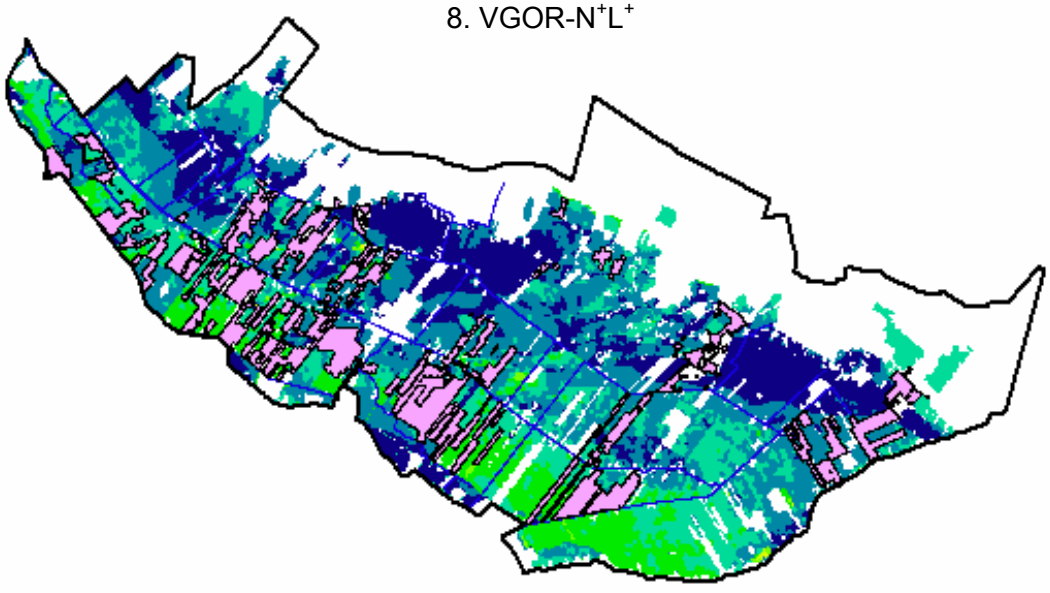
6. VGOR-mkopt-natuur-wb21



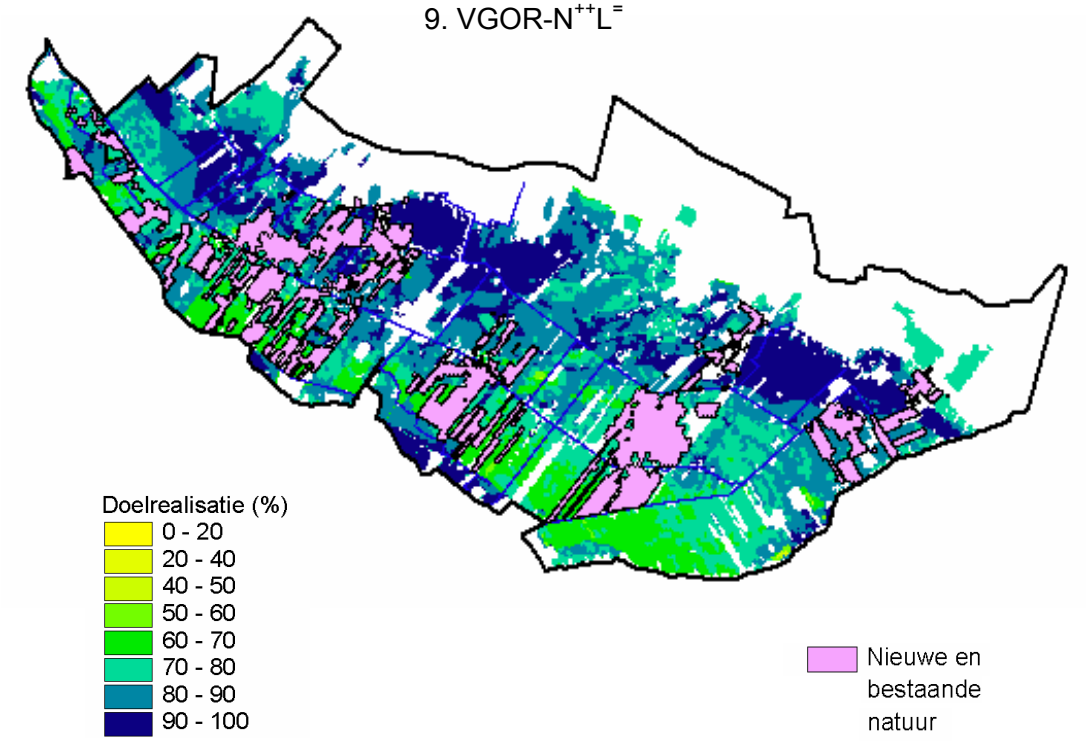
7. VGOR-$N^{+}L^{=}$



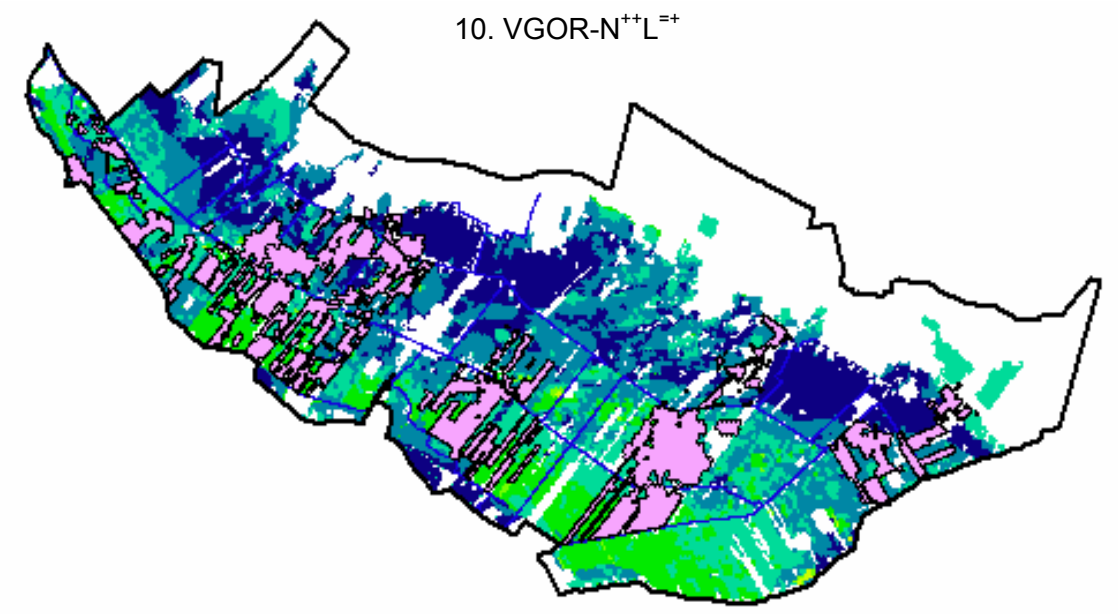
8. VGOR-$N^{+}L^{+}$

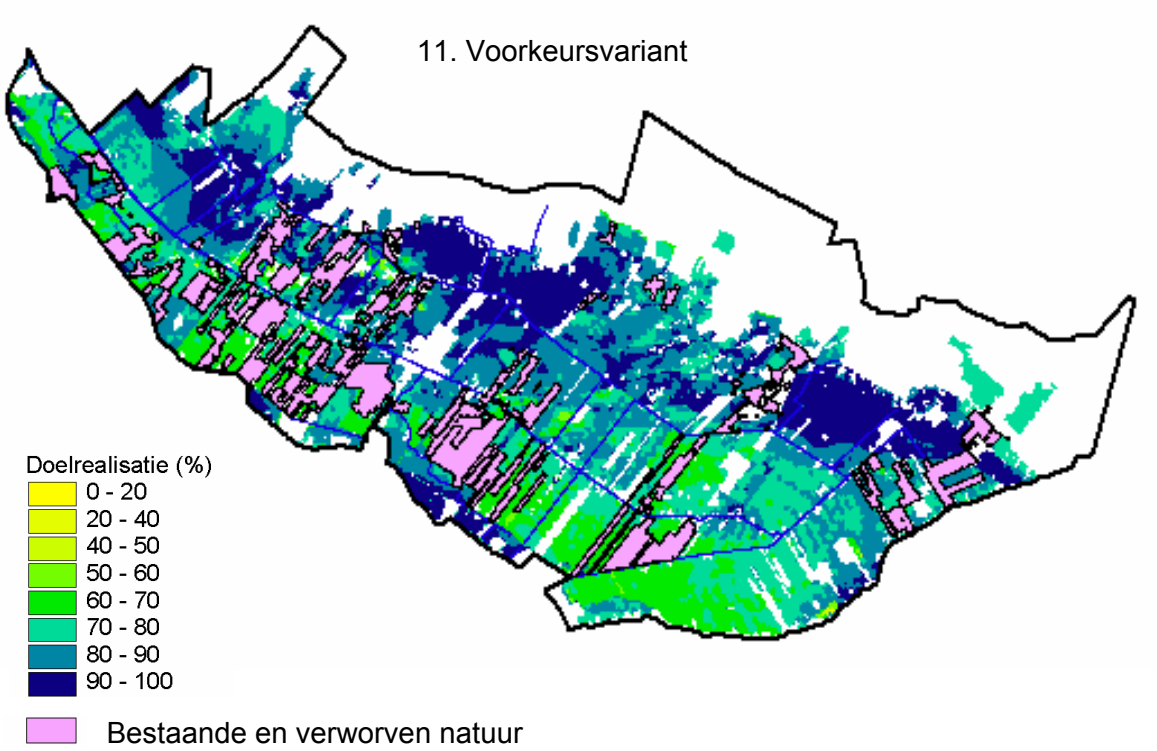


9. VGOR-$N^{++}L^{=}$

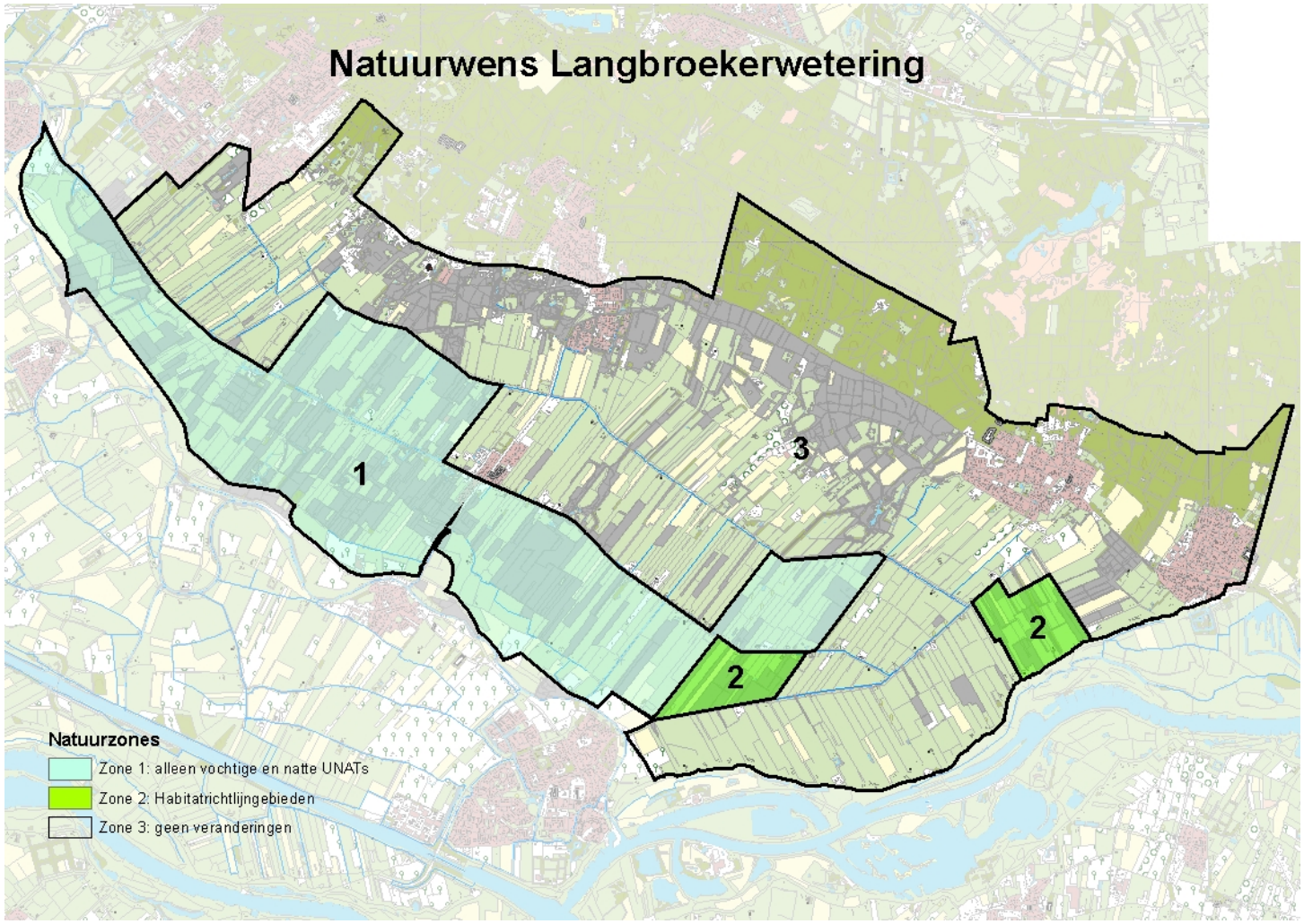


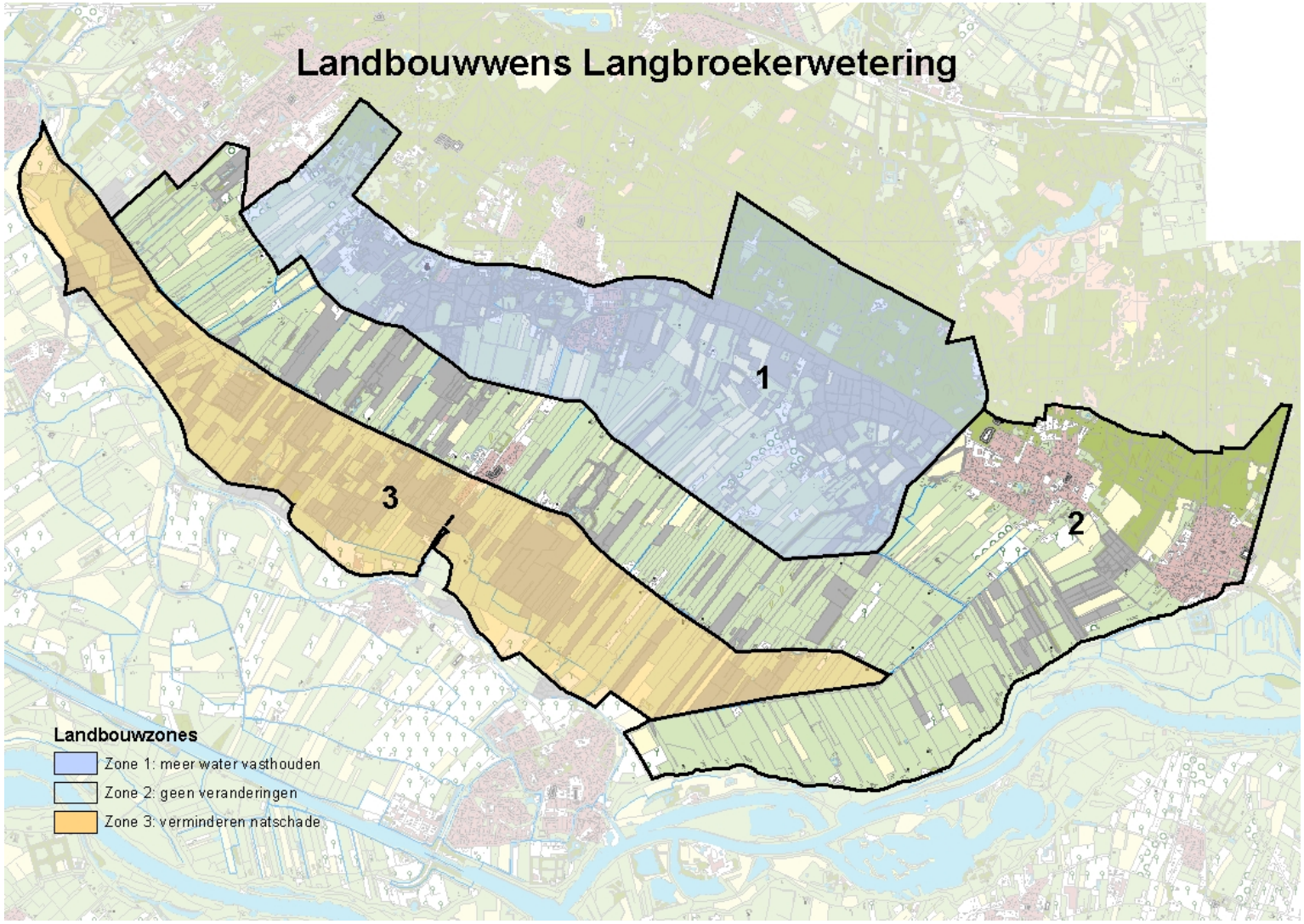
10. VGOR-$N^{++}L^{=+}$

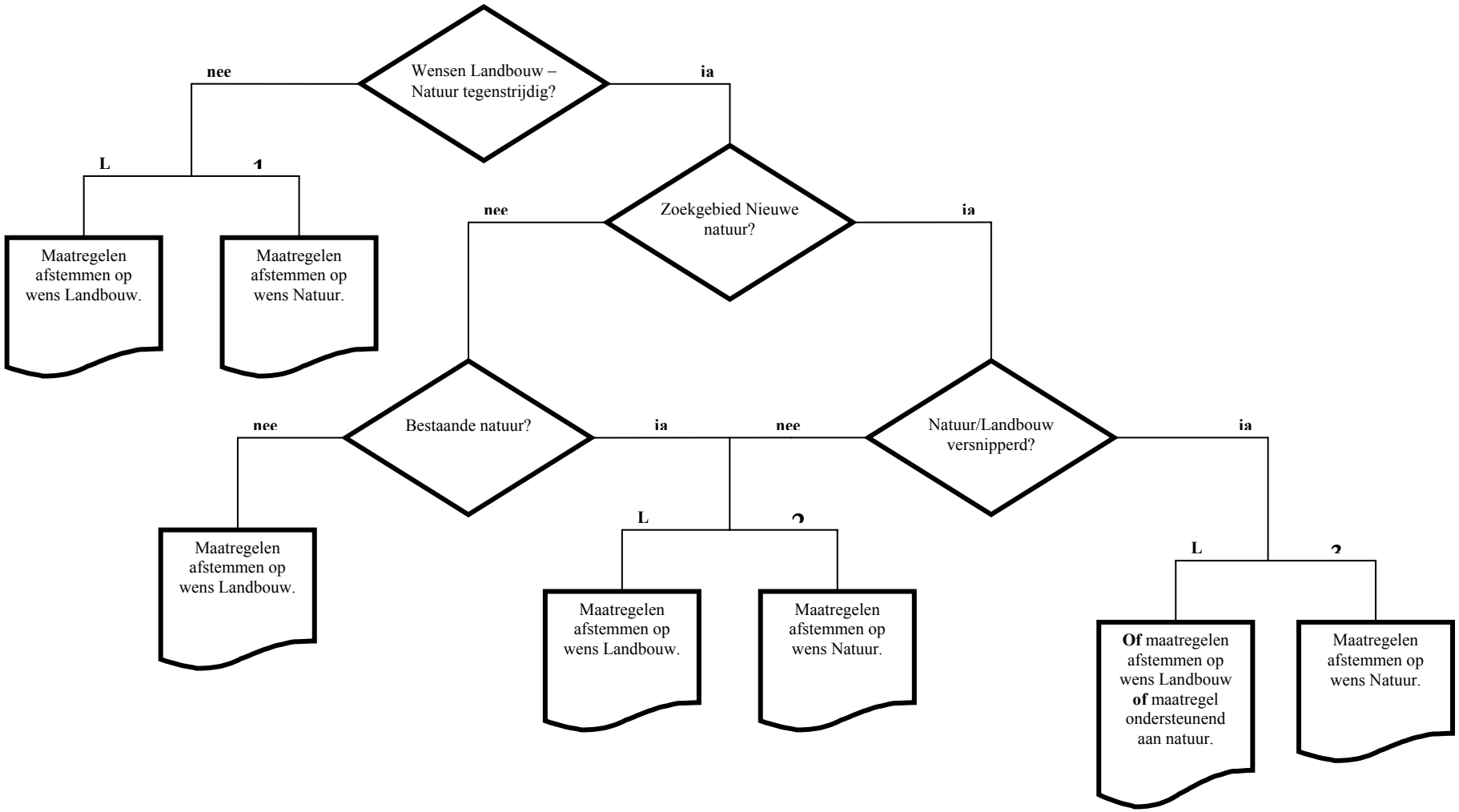


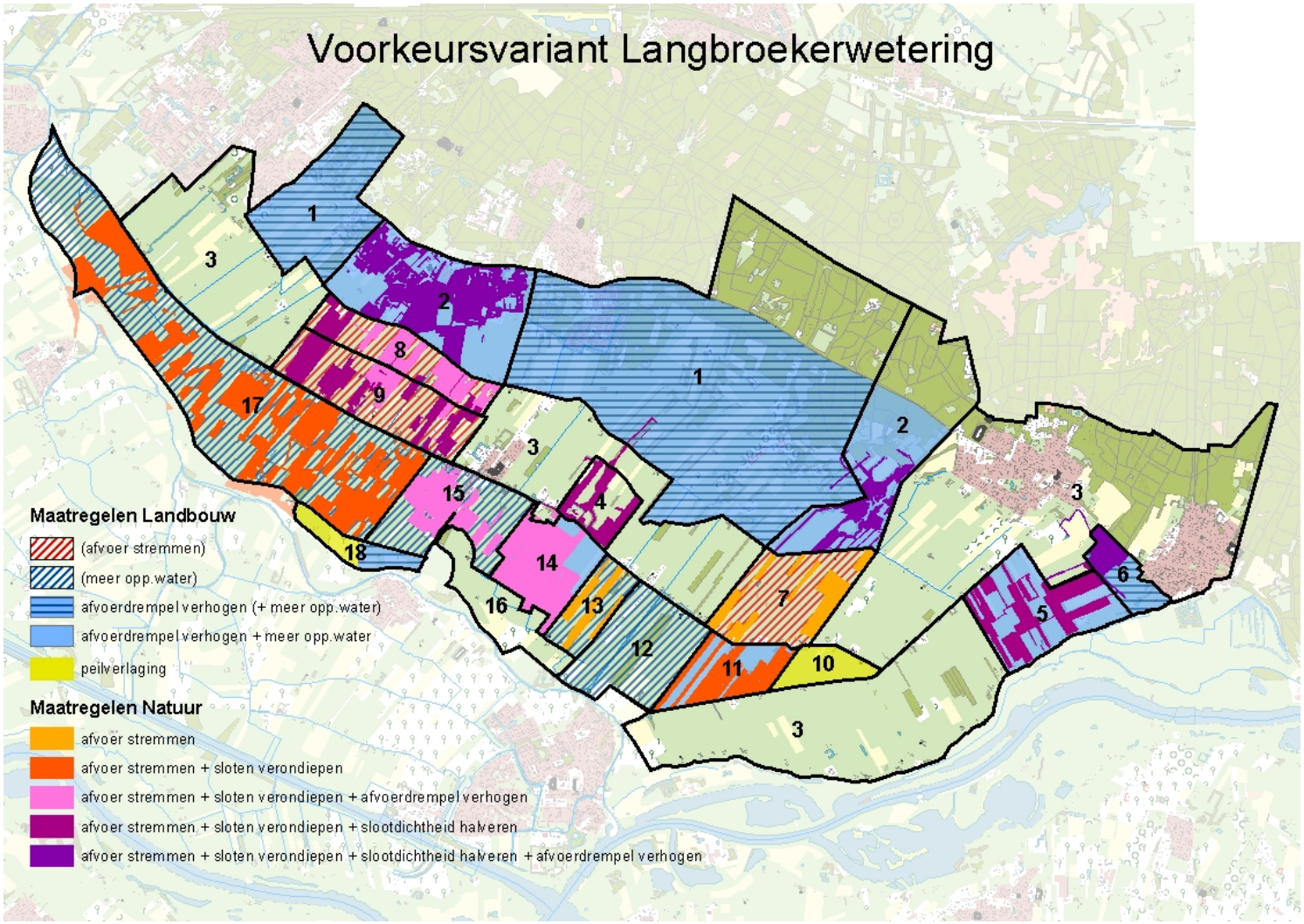

11. Voorkeursvariant
Doelrealisatie (%)
0 - 20
20 - 40
40 - 50
50 - 60
60 - 70
70 - 80
80 - 90
90 - 100
Bestaande en verworven natuur

Aanhangsel 13 Overwegingen Voorkeursvariant




Landbouwwens Langbroekerwetering
1
2
3
Landbouwzones
Zone 1: meer water vasthouden
Zone 2: geen veranderingen
Zone 3: verminderen natschade


Wensen Landbouw – Natuur tegenstrijdig?
nee
ja
L
1
Maatregelen afstemmen op wens Landbouw.
Maatregelen afstemmen op wens Natuur.
Zoekgebied Nieuwe natuur?
nee
ja
Bestaande natuur?
nee
ja
Natuur/Landbouw versnipperd?
nee
ja
Maatregelen afstemmen op wens Landbouw.
L
2
Maatregelen afstemmen op wens Landbouw.
Maatregelen afstemmen op wens Natuur.
L
2
Of maatregelen afstemmen op wens Landbouw **of** maatregel ondersteunend aan natuur.
Maatregelen afstemmen op wens Natuur.


Voorkeursvariant Langbroekerwetering
Maatregelen Landbouw
(afvoer stremmen)
(meer opp.water)
afvoerdrempel verhogen (+ meer opp.water)
afvoerdrempel verhogen + meer opp.water
peilverlaging
Maatregelen Natuur
afvoer stremmen
afvoer stremmen + sloten verondiepen
afvoer stremmen + sloten verondiepen + afvoerdrempel verhogen
afvoer stremmen + sloten verondiepen + slootdichtheid halveren
afvoer stremmen + sloten verondiepen + slootdichtheid halveren + afvoerdrempel verhogen

5	niets doen	ja	deels	natter	+	ja	Stremmen afvoer, icm peilverhoging (waar mogelijk); extra open water	Hydrologische isolatie; sloten verondiepen c.q. dempen; stremmen van de afvoer	Hydrologische isolatie zal niet overal lukken door versnippering landbouw/natuur. Deel gebied is VHR gebied.
6	niets doen	ja	nee	natter	+	ja	Stremmen afvoer, icm peilverhoging (waar mogelijk); extra open water	Hydrologische isolatie; sloten verondiepen c.q. dempen; stremmen van de afvoer; peilverhoging	Gebied is hoger gelegen dan 5.
7	niets doen	ja	ja	natter	+	ja	Stremmen van de afvoer	Hydrologische isolatie; stremmen van de afvoer	Stremmen van de afvoer is ook gunstig voor bovenstrooms gelegen Broekhuizen (2).
8	niets doen	ja	ja	natter	+	ja	Stremmen van de afvoer	Hydrologische isolatie; sloten verondiepen; stremmen van de afvoer; peilverhoging	Hydrologische isolatie niet altijd mogelijk; stremmen afvoer in landbouw ook gunstig voor bovenstrooms gelegen natuur.
9	niets doen	ja	ja	natter	+	ja	Stremmen van de afvoer	Hydrologische isolatie; sloten verondiepen c.q. dempen; stremmen van de afvoer	Hydrologische isolatie niet altijd mogelijk; stremmen afvoer in landbouw ook gunstig voor bovenstrooms gelegen natuur.
10	droger	nee	nee	nvt	nvt	nvt	Peilverlagen	nvt	Afvoer verplaatsen naar Amerongerwtering
11	droger	ja	ja	natter	+	deels	Stremmen afvoer, icm peilverhoging (waar mogelijk); waar mogelijk extra open water	Hydrologische isolatie; sloten verondiepen; stremmen van de afvoer.	Gebied is ook VHR-gebied
12	droger	nee	deels	nvt	nvt	nvt	Geen maatregelen, waar mogelijk extra open water.	nvt	Extra open water om peiken op te kunnen vangen.
13	droger	ja	ja	natter	+/-	ja	Geen maatregelen, waar mogelijk extra open water.	Hydrologische isolatie; stremmen van de afvoer	
14	droger	ja	ja	natter	+/-	deels	Stremmen afvoer, icm peilverhoging (waar mogelijk); extra open water	Hydrologische isolatie; sloten verondiepen; stremmen van de afvoer; peilverhoging (waar mogelijk)	Deel landbouw is al nieuwe natuur.
15	droger	ja	deels	natter	+/-	deels	Geen maatregelen, waar mogelijk extra open water.	Hydrologische isolatie; sloten verondiepen; stremmen van de afvoer; peilverhoging (waar mogelijk)	
16	niets doen	nee	nee	nvt	nvt	nvt	Geen maatregelen	nvt	Ontwikkeling gebied afwachten. Bemaling kan hoogstwaarschijnlijk verdwijnen (schipsloot)

17	droger	ja	ja	natter	+	ja	Geen maatregelen, waar mogelijk extra open water.	Hydrologische isolatie; sloten verondiepen; stremmen van de afvoer; aanleg van een schoonwatertrace als verbinding tussen de natuurgebieden.	Aanleg verbindingswatergang kan problemen opleveren voor de afwatering van landbouwpercelen. Schoonwatertrace kan ook dienen als EVZ.
18	niets doen	nee	nee	nvt	nvt	nvt	Hoogste gelegen deel: stremmen afvoer, icm peilverhoging (waar mogelijk); waar mogelijk extra open water. Laagst gelegen deel peilverlaging.	nvt	

Aanhangsel 14 Maatregelen Voorkeursvariant

Gebied	Natuur	Landbouw
1		Afvoerdrempel; 0.60m-mv 25% meer opp.water, breedte; 4m, diepte; 0.60m
2	Afvoerdrempel; 0.20 m-mv Diepte; 0.40 m-mv Qh-haarvaten; 0.5	Afvoerdrempel; 0.60m-mv 50% meer opp.water, breedte; 4m, diepte; 0.60m
3		
4	Diepte; 0.40 m-mv Qh-haarvaten; 0.5	
5	Diepte; 0.40 m-mv Qh-haarvaten; 0.5	Afvoerdrempel; 0.60m-mv 50% meer opp.water, breedte; 4m, diepte; 0.60m
6	Afvoerdrempel; 0.20 m-mv Diepte; 0.40 m-mv Qh-haarvaten; 0.5	
7	Qh-haarvaten; 0.5	Qh-haarvaten; 0.5
8	Afvoerdrempel; 0.20 m-mv Diepte; 0.40 m-mv Qh-haarvaten; 0.5	Qh-haarvaten; 0.5
9	Diepte; 0.40 m-mv Qh-haarvaten; 0.5	Qh-haarvaten; 0.5
10		Qh-haarvaten; 2
11	Diepte; 0.40 m-mv Qh-haarvaten; 0.5	Afvoerdrempel; 0.60m-mv 50% meer opp.water, breedte; 4m, diepte; 0.60m
12		25% meer opp.water, breedte; 4m, diepte; 0.60m
13	Qh-haarvaten; 0.5	25% meer opp.water, breedte; 4m, diepte; 0.60m
14	Afvoerdrempel; 0.40 m-mv Diepte; 0.40 m-mv Qh-haarvaten; 0.5	Afvoerdrempel; 0.60m-mv 50% meer opp.water, breedte; 4m, diepte; 0.60m
15	Afvoerdrempel; 0.40 m-mv Diepte; 0.40 m-mv Qh-haarvaten; 0.5	25% meer opp.water, breedte; 4m, diepte; 0.60m
16		
17	Afvoerdrempel; 0.40 m-mv Diepte; 0.40 m-mv Qh-haarvaten; 0.5	25% meer opp.water, breedte; 4m, diepte; 0.60m
18		Afvoerdrempel; 0.60m-mv 25% meer opp.water, breedte; 4m, diepte; 0.60m Qh-haarvaten; 2